

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Laura JATEIKIENĖ

**AUTOMOBILIŲ KELIUOSE DIEGIAMŲ  
INŽINERINIŲ GREIČIO REGULIAVIMO IR  
KONTROLĖS PRIEMONIŲ VEIKSMINGUMO  
EISMO SAUGUMUI ĮVERTINIMO MODELIS**

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,  
STATYBOS INŽINERIJA (02T)



LEIDYKLA  
Vilnius TECHNIKA 2016

Disertacija rengta 2012–2016 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

### **Vadovas**

doc. dr. Audrius VAITKUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

### **Pirmininkas**

prof. habil. dr. Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

### **Nariai:**

prof. dr. Marija BURINSKIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T),

doc. dr. Artūras KERŠYS (Kauno technologijos universitetas, transporto inžinerija – 03T),

prof. habil. dr. Henrikas SIVILEVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T),

prof. dr. Juris SMIRNOVS (Rygos technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Disertacija bus ginama viešame Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2017 m. sausio 19 d. 14 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel.: (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112; el. paštas doktor@vgtu.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2016 m. gruodžio 16 d.

Disertaciją galima peržiūrėti VGTU talpykloje <http://dspace.vgtu.lt> ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

VGTU leidyklos TECHNIKA 2401-M mokslo literatūros knyga

<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-609-457-992-9

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2016

© Laura Jateikienė, 2016

[laura.jateikiene@vgtu.lt](mailto:laura.jateikiene@vgtu.lt)

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Laura JATEIKIENĖ

**ASSESSMENT MODEL OF ROAD TRAFFIC  
CALMING AND SPEED CONTROL  
MEASURES EFFICIENCY TO TRAFFIC  
SAFETY**

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,  
CIVIL ENGINEERING (02T)



LEIDYKLA  
Vilnius TECHNIKA 2016

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2012–2016.

**Supervisor**

Assoc. Prof. Dr Audrius VAITKUS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

The Dissertation Defence Council of Scientific Field of Civil Engineering of Vilnius Gediminas Technical University:

**Chairman**

Prof. Dr Habil. Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

**Members:**

Prof. Dr Marija BURINSKIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T),

Assoc. Prof. Dr Artūras KERŠYS (Kaunas University of Technology, Transport Engineering – 03T),

Prof. Dr Habil. Henrikas SIVILEVIČIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T),

Prof. Dr Juris SMIRNOVS (Riga Technical University, Civil Engineering – 02T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defence Council of Civil Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **2 p. m. on 19 January 2017**.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112; e-mail: doktor@vgtu.lt

A notification on the intend defending of the dissertation was send on 16 December 2016.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at VGTU repository <http://dspace.vgtu.lt> and at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

# Reziumė

Disertacijoje nagrinėjamas inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veiksmingumas eismo saugumo užtikrinimui. Disertacijos tikslas – didinti eismo saugumą sudarant vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui įvertinimo modelį, apimantį inžinerinių priemonių poveikį, ir pasiūlant ekonomiškai pagrįstą strategiją Lietuvos magistraliniams keliams.

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, bendrosios išvados, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai ir aštuoni priedai.

Įvadiniamе skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašoma tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos disertacijos tema autoriaus moksliniuose leidiniuose paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose bei disertacijos struktūra.

Pirmame skyriuje pateikiama greičio įtakos eismo saugumui bei inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veiksmingumo mokslinių tyrimų analizė. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados ir tikslinami disertacijos uždaviniai. Antrajame skyriuje nustatyti ir susisteminti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veikimo atkarpų ilgiai bei susistemintos priemonių taikymo sąlygos. Sudarytas vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumą eismo saugumui įvertinantis teorinis modelis ir pateikti modelio taikymo principai. Trečiajame skyriuje, taikant daugiakriterinius tyrimus, nustatyti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių reikšmingumai avaringumo sumažėjimui. Atlikti vidutinio greičio ir vidutinio greičio matavimo sistemos eksperimentiniai tyrimai Lietuvos automobilių keliuose. Ketvirtajame skyriuje, pagal sudarytą vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo įvertinimo modelį, parinkti Lietuvos valstybinės reikšmės magistralinių ir krašto kelių ruožai sistemos įrengimui. Sudaryti vidutinio greičio matavimo sistemos strategijos įgyvendinimo variantai bei atliktas jų ekonominis vertinimas. Pagal eksperimentinių tyrimų rezultatus pateiktos rekomendacijos vidutinio greičio matavimo sistemos taikymui.

Disertacijos tema paskelbti 9 moksliniai straipsniai: keturi – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Thomson ISI Web of Science* duomenų bazę, vienas – periodiniame recenzuojamame mokslo leidinyje, trys – *ISI Proceedings* duomenų bazės leidiniuose, vienas – recenzuojamoje tarptautinės konferencijos medžiagoje. Disertacijos tema perskaityti 4 pranešimai Lietuvos bei kitų šalių mokslinėse konferencijose.

# Abstract

The efficiency of engineering speed regulation and control means for the assurance of traffic safety is being analysed in the thesis. The aim of the thesis is to increase road safety by developing a model for the evaluation of safety impact of the average speed enforcement system, involving the impact of engineering measures, and to suggest the economically-justified strategy for main roads of Lithuania.

The dissertation consists of introduction, 4 chapters, conclusions, the list of references, the list of publications by the author on the topic of the dissertation, summary in English and 8 annexes. The introduction reveals the investigated problem, importance of the thesis and the object of research and describes the purpose and tasks of the thesis, research methodology, scientific novelty, the practical significance of results examined in the paper and defended statements. The introduction ends in presenting the author's publications on the subject of the defended dissertation, offering the material of made presentations in conferences and defining the structure of the dissertation. Chapter 1 presents research analysis of speed impact on road safety and efficiency of traffic calming and speed control measures. At the end of the chapter, conclusions are drawn and the tasks for the dissertation are reconsidered. There have been determined and systematized engineering speed regulation and functioning lengths of control means as well as conditions of means application have been systematized in Chapter 2. Theoretical model has been made to assess the efficiency of average speed enforcement system to traffic safety and application principles of a model have been provided. Significances of engineering speed regulation and control means by applying multiple research have been determined for the reduction of accidents in Chapter 3. Experimental researches of average speed and average speed enforcement system have been carried out on Lithuanian roads. In Chapter 4, Lithuanian national significance sections of the main and district roads were selected for the system installation by the estimation model of average speed enforcement system's efficiency. Implementation options of average speed enforcement system's strategy and its economic estimation were carried out. Recommendations for the application of average speed enforcement system have been presented under experimental research results.

9 articles focusing on the subject of the discussed dissertation are published. Four articles are in scientific journals, involved into *Thomson ISI Web of Science* database. One article is in periodical peer reviewed science journal, three articles are in *ISI Proceedings* database publications. One article is in material reviewed during international conference. Four presentations on the subject have been given in conferences at national and international level.

---

## Sąvokos

**Eismo dalyvis** – kelių eisme dalyvaujantis asmuo (vairuotojas, pėsčiasis, keleivis).

**Ekspertas** [lot. *expertus* – įgudęs, prityręs] – mokslo, meno ar kitų sričių žinovas, kviečiamas atsakyti į klausimus, reikalaujančius specialių žinių.

**Entropija** [gr. *en* – viduje + *tropē* – posūkis, pavirtimas]: ... 2. Informacijos teorijoje – bandymo rezultato neapibrėžtumo matas.

**Hierarchija** [gr. *hierarchia* < *hieros* – šventas + *archē* – valdžia]: 1. Daugiapakopė organizacinė struktūra, kurios grandys, einant nuo viršaus į apačią, sudaro griežtai reglamentuotus pavaldumo ir priklausomybės laiptus; 2. Kibernetikoje – daugiapakopė struktūra.

**Iškili greičio reguliavimo priemonė** – iškili inžinerinė priemonė, skirta transporto priemonių greičiui sumažinti arba saugiam greičiui palaikyti kelio ruože arba konkrečioje vietoje.

**Išskaitinis eismo įvykis** – eismo įvykis, kuriame žuvo arba buvo sužeistas žmogus.

**„Juodoji dėmė“** – kelio ruožas, kuriame avaringumo rodikliai yra pasiekę arba viršiję ribines reikšmes.

„**Miesto vartai**“ – kelio važiuojamosios dalies iškreivinimas prieš gyvenamąją teritoriją, informuojantis vairuotoją apie važiavimo režimo pasikeitimą ir fiziškai priverčiantis sumažinti transporto priemonės greitį.

**Momentinio greičio matuoklis** – kelyje ant specialaus stovo įrengtas prietaisas, fiksuojantis transporto priemonių nustatyto greičio viršijimo atvejus.

**Poveikio koeficientas** – eismo saugumą gerinančios priemonės veiksmingumo išraiška, parodanti prognozuojamų eismo įvykių skaičių po priemonės įdiegimo.

**Prioritetas** [vok. *prioritiet* < lot. *prior* – pirmas]: 1. Ko nors pirmumas (dažnai laiko atžvilgiu, pvz. atradėjo, išradėjo); 2. Pirmenybė kokio nors akto, įstatymo, nuostatų, taisyklių; 3. Eiliškumas, kuriuo vykdomos operacijos, procesai, skirstomi ištekliai; 4. Pirmenybė to, kas laikomas svarbiausiu dalyku.

**Rangas** [vok. *Rang* < pranc. *rang* – eilė] – hierarchijos lygmuo hierarchinėje sistemoje: ... 3. Matematikoje – sistemos, kurios elementus galima sudėti vienus su kitais ir dauginti iš skaičių: tarpusavyje tiesiškai nepriklausomų elementų skaičiaus.

**Reitingas** [angl. *rating*] – sociologijoje – asmens, institucijos, reiškinio kiekybinis įvertinimas, padedantis palyginti vienos rūšies objektus, nustatyti jų vietą vertinimo skalėje.

**Transporto priemonė** – priemonė žmonėms ir (arba) kroviniams, taip pat ant jos sumontuoti stacionariai įrangai vežti. Ši sąvoka taip pat apima traktorius, savarakiškas mašinas ir eismui ne keliais skirtas transporto priemones.

**Vidutinio greičio matavimo sistema** – sistema, matuojanti vidutinį transporto priemonės greitį tam tikroje kelio atkarpoje.



---

# Žymėjimai

## Simboliai

$R_{prog\_z_i}$  – prognozuojamų eismo įvykių su žuvusiais rizika kelio ruože  $i$ .

$A_{prog\_z_i}$  – prognozuojamų eismo įvykių su žuvusiais skaičius kelio ruože  $i$ .

$L_i$  – kelio ruožo  $i$  ilgis, km.

## Santrumpos

AHP – (angl. *Analytic Hierarchy Process*) daugiatiskslio vertinimo metodas – analitinės hierarchijos procesas.

DNV/DKV – dabartinės naudos vertės ir dabartinės kaštų vertės santykis arba rentabilumas.

GDV – grynoji dabartinė vertė.

GRK – greičio reguliavimo kalnelis.

LAKD – Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos.

LGVPSP – leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonės.

MN ŽSP 12 – Žiedinių sankryžų projektavimo metodiniai nurodymai.

R ISEP 10 – Inžinerinių saugaus eismo priemonių projektavimo ir naudojimo rekomendacijos.

TP – transporto priemonė.

VGN – vidinė grąžos norma.

VMPEI – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas.

VGMS – vidutinio greičio matavimo sistema.



---

# Turinys

IVADAS .....	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas .....	2
Tyrimų objektas.....	2
Darbo tikslas.....	2
Darbo uždaviniai .....	3
Tyrimų metodika .....	3
Darbo mokslinis naujumas .....	3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė .....	4
Ginamieji teiginiai .....	4
Darbo rezultatų aprobavimas.....	4
Disertacijos struktūra.....	5
1. INŽINERINIŲ GREIČIO REGULIAVIMO IR KONTROLĖS PRIEMONIŲ TAIKYMO IR VEIKSMINGUMO MOKSLINIŲ TYRIMŲ ANALIZĖ .....	7
1.1. Greičio įtakos eismo saugumui analizė .....	8
1.2. Inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veiksmingumo analizė .....	14
1.3. Vidutinio greičio matavimo sistemos įrengimo vietų ir veiksmingumo analizė.....	23
1.4. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas.....	30
2. VIDUTINIO GREIČIO MATAVIMO SISTEMOS VEIKSMINGUMO EISMO SAUGUMUI ĮVERTINIMO MODELIS .....	31

2.1. Inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių poveikio eismo saugumui teoriniai įverčiai .....	31
2.2. Vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo įvertinimo teorinis modelis.....	41
2.3. Vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo įvertinimo teorinio modelio taikymo principai .....	58
2.4. Antrojo skyriaus išvados .....	61
<b>3. VIDUTINIO GREIČIO MATAVIMO SISTEMOS VEIKSMINGUMO EISMO SAUGUMUI TYRIMAS.....</b>	<b>63</b>
3.1. Inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui daugiakriterinis tyrimas .....	63
3.1.1. Analitinio hierarchijos proceso metodo tinkamumo greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui tirti teorinis pagrindimas .....	65
3.1.2. Greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių reikšmingumą avaringumo sumažėjimui jų veikimo atkarpoje praktinis tyrimas analitiniu hierarchijos proceso metodu.....	71
3.1.3. Ekspertų grupės nuomonių suderinamumo teorinis tyrimas taikant rangų koreliacijos metodą.....	75
3.1.4. Greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių prioriteto avaringumo sumažėjimui ekspertų grupės nuomonių praktinis tyrimas.....	79
3.1.5. Leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonių grupių svorio koeficientų skaičiavimas pagal atvirkštinės hierarchijos modelį....	87
3.2. Vidutinio greičio eksperimentinis tyrimas kelyje A11 Šiauliai–Palanga .....	90
3.2.1. Tyrimo objektas ir metodika.....	90
3.2.2. Tyrimo rezultatai .....	93
3.3. Vidutinio greičio matavimo sistemos eksperimentinis tyrimas kelyje A5 Kaunas–Marijampolė–Suvalkai .....	102
3.3.1. Tyrimo objektas ir metodika.....	102
3.3.2. Tyrimo rezultatai .....	104
3.4. Tyrimų rezultatų apibendrinimas ir trečiojo skyriaus išvados .....	105
<b>4. VIDUTINIO GREIČIO MATAVIMO MODELIU PAGRĮSTOS SISTEMOS TAIKYMAS LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIUOSE .....</b>	<b>107</b>
4.1. Vidutinio greičio matavimo sistemos strategijos įgyvendinimo variantai .....	107
4.2. Vidutinio greičio matavimo sistemos ekonominis vertinimas.....	110
4.4. Ketvirtąjo skyriaus išvados .....	112
<b>BENDROSIOS IŠVADOS .....</b>	<b>115</b>
<b>REKOMENDACIJOS .....</b>	<b>117</b>
<b>LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....</b>	<b>119</b>

AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS.....	131
SUMMARY IN ENGLISH.....	133
PRIEDAI <sup>1</sup> .....	149
A priedas. Leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonių reikšmingumų avaringumo sumažėjimui ekspertinio tyrimo anketa .....	150
B priedas. Eksperto nuomonės suderinamumo laipsnio skaičiavimas porinio lyginimo metodu .....	151
C priedas. A11 Šiauliai–Palanga kelyje 2011–2014 m. įvykę įskaitiniai eismo įvykiai, jų sunkumas bei rūšys .....	195
D priedas. Eismo įvykių prognozavimo rezultatai potencialiuose vidutinio greičio matavimo sistemos įrengimui Lietuvos magistralinių kelių ruožuose .....	196
E priedas. Eismo įvykių prognozavimo rezultatai potencialiuose vidutinio greičio matavimo sistemos įrengimui Lietuvos krašto kelių ruožuose .....	198
F priedas. Vidutinio greičio matavimo sistemos ekonominis vertinimas .....	202
G priedas. Bendraautorių sutikimai teikti publikacijose skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje.....	210
H priedas. Autorės mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos.....	229

---

<sup>1</sup> Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje.



---

# Contents

INTRODUCTION .....	1
Formulation of the problem .....	1
Topicality of the thesis .....	2
The object of research .....	2
The aim of the thesis .....	2
The tasks of the thesis .....	3
Research methodology .....	3
Scientific novelty of the thesis .....	3
Practical value of the research findings .....	4
Defended statments .....	4
Approval of the research findings .....	4
The structure of the dissertation .....	5
1. SCIENTIFIC RESEARCH ANALYSIS OF TRAFFIC CALMING AND SPEED CONTROL MEASURES APPLICATION AND EFFICIENCY .....	7
1.1. Analysis of speed impact to road safety .....	8
1.2. Analysis of traffic calming and speed control measures efficiency .....	14
1.3. Analysis of average speed enforcement system installation locations and efficiency .....	23
1.4. Conclusions of chapter 1 and tasks formulation of the thesis .....	30

2. ASSESSMENT MODEL OF AVERAGE SPEED ENFORCEMENT SYSTEM EFFICIENCY TO ROAD SAFETY .....	31
2.1. Theoretical estimates of traffic calming and speed control measures impact on road safety .....	31
2.2. Theoretical model of average speed enforcement system efficiency assessment.....	41
2.3. Application principles of theoretical model on average speed enforcement system efficiency assessment .....	58
2.4. Conclusions of chapter 2 .....	61
3. RESEARCH OF AVERAGE SPEED ENFORCEMENT SYSTEM EFFICIENCY TO ROAD SAFETY .....	63
3.1. Multi study of traffic calming and speed control measures impact to accident reduction .....	63
3.1.1. Theoretical substantiation of AHP method suitability for traffic calming and speed control measures' impact to research reduction of accidents .....	65
3.1.2. Practical research under AHP method of traffic calming and speed control measures significance for regulation of accidents in its operation section.....	71
3.1.3. Theoretical research on the opinion compatibility of experts' group applying method of rank correlation .....	75
3.1.4. Practical research on expert group opinion of the priority of traffic calming and speed control measures to reduce accidents .....	79
3.1.5. Calculation of weight coefficients of solution measures groups by reverse hierarchy model for overspeeding problem .....	87
3.2. Experimental research of average speed on the road A11 Siauliai–Palanga ....	90
3.2.1. Research object and method .....	90
3.2.2. Research results .....	93
3.3. Experimental research of average speed enforcement system on the road A5 Kaunas–Marijampolė–Suvalkai .....	101
3.3.1. Research object and method . .....	102
3.3.2. Research results .....	104
3.4. Summary of research results and conclusions of chapter 3 .....	105
4. APPLICATION OF A SYSTEM BASED ON AVERAGE SPEED ENFORCEMENT MODEL ON LITHUANIAN ROADS .....	107
4.1. Realization ways of average speed enforcement system strategy .....	107
4.2. Economic estimation of average speed enforcement system .....	110
4.3. Conclusions of chapter 4 .....	112
GENERAL CONCLUSIONS .....	115
RECOMMENDATIONS .....	117
REFERENCES .....	119



LIST OF THE AUTHOR'S SCIENTIFIC PUBLICATIONS BY THE AUTHOR ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION .....	131
SUMMARY IN ENGLISH .....	133
ANNEXES <sup>2</sup> .....	149
Annex A. Questionnaire of expert research of permissible speeding problem resolution measures significances to decrease of accidents .....	150
Annex B. Compatibility degree calculation of an expert opinion by pair comparison method .....	151
Annex C. Record accidents that took place on the road A11 Siauliai–Palanga in 2011–2014, its severity and types .....	195
Annex D. Traffic accidents forecasting results on potential Lithuanian main road sections for the installation of average speed enforcement system .....	196
Annex E. Traffic accidents forecasting results on potential Lithuanian national road sections for the installation of average speed enforcement system .....	198
Annex F. Economic estimation of average speed enforcement system .....	202
Annex G. Agreements of co-authors to provide published statements in the thesis .....	210
Annex H. Copies of scientific publications by the author on the topic of the dissertation .....	229

---

<sup>2</sup>The annexes are supplied in the enclosed compact disc.



---

# Įvadas

## Problemos formulavimas

Pasaulio sveikatos organizacijos duomenimis, keliuose kasmet žūsta daugiau kaip 1,2 mln. gyventojų. Europos Sąjungos keliuose 2014 m. žuvo beveik 26 tūkst. eismo dalyvių ir daugiau kaip 1,4 mln. buvo sužeisti. Lietuvoje kasmet užregistruojama daugiau kaip 3 tūkst. eismo įvykių, kuriuose žūsta apie 300 eismo dalyvių bei 4 tūkst. būna sužeisti. Dėl per metus įvykusių eismo įvykių Lietuvos valstybė patiria apie 400 mln. eurų žalą.

Daugelio mokslininkų atliktų tyrimų rezultatai rodo, kad dauguma eismo įvykių įvyksta dėl eismo dalyvių kaltės. Treat *et al.* (1979) nustatė, kad vien dėl eismo dalyvių kaltės įvyksta 57 % eismo įvykių. O eismo dalyvio, kelio ir transporto priemonės bendra sąveika sudaro 93 % įvykstančių eismo įvykių skaičiaus.

Vienas iš dažniausių eismo dalyvių Kelių eismo taisyklių pažeidimų yra leistino greičio viršijimas. Pasaulyje apie 50 % vairuotojų viršija leistiną greitį (Transport Research Centre, 2006). Lietuvoje kelių policijos tarnybos duomenimis (2015A) 2014 m. leistino greičio viršijimas sudarė 38 % visų išaiškintų pažeidimų. Policijos pareigūnai prevencinių priemonių vykdymo metu nustatė, kad dažniausiai leistinas greitis Lietuvos keliuose viršijamas nuo 21 iki 30 km/h.

Daugelio mokslininkų teigimu, greitis didina ne tik eismo įvykių atsiradimo tikimybę, bet turi ypatingai didelę įtaką eismo įvykių pasekmėms. Greičio viršijimui turi įtakos kelių infrastruktūra, konkrečios situacijos aplinkybės bei vairuotojo motyvacija, nesugebėjimas įvertinti rizikos (Liu *et al.* 2012).

## **Darbo aktualumas**

Lietuva yra viena iš nedaugelio Europos Sąjungos šalių sėkmingai pasiekusi Europos Komisijos patvirtintoje Baltojoje knygoje užsibrėžtą tikslą – žuvusių skaičių eismo įvykiuose 2001–2010 m. sumažinti perpus. Žuvusių skaičius sumažėjo 58 %. 2011 m. Lietuva paruošė Valstybinę saugaus eismo plėtros 2011–2017 m. programą, kurios pagrindinis tikslas – gerinant saugaus eismo būklę pasiekti, kad pagal žuvusių eismo dalyvių skaičių, tenkantį 1 mln. šalies gyventojų, Lietuva atsidurtų tarp 10 geriausių rezultatų pasižyminčių Europos Sąjungos valstybių (arba ne daugiau kaip 60 žuvusiųjų vienam milijonui gyventojų). Tačiau pastarųjų metų avaringumo statistikos duomenys rodo, kad teigiami pokyčiai stabilizavosi. 2013–2015 m. Lietuvos keliuose žuvusių skaičius sumažėjo tik 6,6 %. Galima daryti prielaidą, kad eismo dalyviai priprato prie Lietuvos automobilių keliuose įrengtų eismo saugumą gerinančių priemonių, todėl jų veiksmingumas sumažėjo. Atsižvelgiant į esamą situaciją būtina numatyti inovatyvius sprendimus bei diegti ne tik naudojamas, bet ir naujas eismo saugumo gerinimo priemones.

Užsienio šalyse leistino greičio viršijimas sėkmingai mažinamas diegiant vidutinio greičio matavimo sistemą. Kad Lietuvoje diegiama vidutinio greičio matavimo sistema būtų veiksminga – mažėtų eismo įvykių ir žuvusių skaičius – svarbu parinkti tinkamus kelio ruožus. Jų nustatymui reikalingas vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo kelio ruože įvertinimo modelis.

## **Tyrimų objektas**

Magistraliniuose ir krašto keliuose įrengtų inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių bei vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumas eismo saugumui.

## **Darbo tikslas**

Didinti eismo saugumą sudarant vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui įvertinimo modelį, apimantį inžinerinių priemonių poveikį, ir pasiūlant ekonomiškai pagrįstą strategiją Lietuvos magistraliniams keliams.

## Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti darbe reikia spręsti šiuos uždavinius:

1. Nustatyti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veikimo atkarpų ilgį.
2. Susisteminti ir apibrėžti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių taikymo sąlygas.
3. Sudaryti vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui įvertinimo modelį.
4. Taikant daugiakriterinius sprendimo priėmimo metodus nustatyti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių reikšmingumą avaringumo sumažėjimui ir sudaryti priemonių prioritetinę eilę.
5. Eksperimentais nustatyti transporto priemonių vidutinio greičio viršijimo priklausomybę nuo leistino greičio ir jo apribojimų skaičiaus bei vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumą eismo saugumui.
6. Sudaryti vidutinio greičio matavimo sistemos Lietuvos automobilių keliuose įgyvendinimo variantus ir atlikti jų ekonominį vertinimą.

## Tyrimų metodika

Darbe taikomos tyrimo metodikos pagrįstos mokslinių darbų šioje srityje analize. Darbe taikyti šie tyrimų metodai: duomenų sisteminimas, grupavimas, lyginimas, statistinė analizė. Darbe naudoti ekspertų nuomone grindžiami daugiakriteriai sprendimų priėmimo metodai, pritaikyti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių įtakai avaringumui keliuose tirti.

## Darbo mokslinis naujumas

Disertacijoje gauti šie statybos inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Susisteminus inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių taikymo sąlygas, nustatyta, kad tik inžinerines greičio kontrolės priemones galima taikyti esant visiems Lietuvoje leistiniams transporto priemonių greičiams. Pagal greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veikimo atkarpų ilgių tyrimų rezultatus bei užsienio patirtį, nustatyta, kad vidutinio greičio matavimo sistemos veikimo atkarpa ilgiausia.
2. Pirmą kartą daugiakriteriniu tyrimu nustatyti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių reikšmingumai (svoriai) avaringumo sumažėjimui priemonių veikimo atkarpose. Ekspertų manoma, kad vidutinio

greičio matavimo sistema pagal svarbą eismo saugumui yra antroje vietoje iš visų 8 tirtų greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių.

3. Iki šiol Lietuvoje nebuvo kelių ruožų, kuriuose tikslinga diegti vidutinio greičio matavimo sistemą, parinkimo metodikos. Užsienio šalių patirties analizė padėjo sudaryti vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui įvertinimo modelį, kuris susieja avaringumo rodiklius, kelio bei eismo parametrus.

## Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Darbe pateiktas vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui įvertinimo modelis gali būti taikomas parenkant valstybinės reikšmės kelių ruožus, kuriuose tikslinga diegti vidutinio greičio matavimo sistemą. Disertacijoje pateikiami pagal sudarytą modelį parinkti Lietuvos valstybinės reikšmės kelių ruožai, kuriuose suprognuoti įskaitinių eismo įvykių bei eismo įvykių su žuvusiais pokyčiai po vidutinio greičio matavimo sistemos įdiegimo. Atliktas vidutinio greičio matavimo sistemos diegimo parinktuose kelių ruožuose ekonominis vertinimas rodo aukštą ekonominio atsipirkimo lygį. Todėl prieš sistemos diegimą atlikus vizualines kelių ruožų apžiūras ir įvertinus, ar nepakito esama padėtis, rekomenduojama vidutinio greičio matavimo sistemą diegti disertacijoje pateikiamuose kelių ruožuose.

Darbo rezultatų pritaikymas tikėtina turės įtakos eismo įvykių ir jų pasekmių sumažinimui Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose.

## Ginamieji teiginiai

1. Inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių poveikis eismo saugumui priklauso nuo priemonės rūšies ir įrengimo vietos.
2. Mažesnis leistinas greitis kelyje didina vidutinio greičio viršijimą.
3. Vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui įvertinimo modelyje turi būti panaudoti avaringumo rodikliai, kelio parametrai ir eismo parametrai.

## Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema yra atspausdinti 5 moksliniai straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose: keturi – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Thomson ISI Web of Science* duomenų bazę, turinčiuose citavimo indeksą (Laurinavičius *et al.* 2012; Laurinavičius *et al.* 2012; Čygaitė *et al.* 2014; Vaitkus *et al.* 2016); vienas – periodiniame recenzuojamame mokslo žurnale (Jasiūnienė, Jateikienė 2015).

Disertacijos tema atliktų tyrimų rezultatai paskelbti keturiose mokslinėse konferencijose Lietuvoje ir užsienyje:

- 8-ojoje tarptautinėje konferencijoje „*Environmental Engineering*“, 2011 m. Vilniuje;
- Tarptautinėje konferencijoje „*XXVIII International Baltic Road Conference*“, 2013 m., Vilniuje;
- 9-ojoje tarptautinėje konferencijoje „*Environmental Engineering*“, 2014 m. Vilniuje;
- 6-ojoje Europos transporto tyrimo konferencijoje „*Mobility Forward: Innovative Solutions for Tomorrow's Mobility*“, 2016 m. Varšuvoje.

## **Disertacijos struktūra**

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai ir bendrosios išvados. Taip pat yra septyni priedai.

Darbo apimtis yra 148 puslapiai, neskaitant priedų, tekste panaudotos 39 numeruotos formulės, 43 paveikslai ir 24 lentelės. Rašant disertaciją buvo panaudota 154 literatūros šaltiniai.





---

## **Inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių taikymo ir veiksmingumo mokslinių tyrimų analizė**

Treat *et al.* (1977, 1979), Wierwille *et al.* (2002) atlikti tyrimai rodo, kad dauguma eismo įvykių įvyksta dėl eismo dalyvio kaltės (t. y. žmogiškojo veiksnio). Eismo dalyviai dažnai daro klaidas dalyvaudami eisme dėl fizinių galimybių, suvokimo ir pažinimo ribotumo (AASHTO 2010). Žinant eismo dalyvių galimybes bei numatant tikėtinas jų klaidas, galima sumažinti klaidų tikimybę ir pasekmes. Kelių infrastruktūra gali apsaugoti eismo dalyvius nuo žūties arba sunkių sužeidimų. Taip pat kelio elementai bei aplinka gali nulemti eismo dalyvių elgseną, kas gali turėti teigiamą įtaką eismo dalyvių klaidų sumažėjimui.

Konkrečioje situacijoje tinkamus inžinerinius sprendinius galima parinkti žinant inžinerinių priemonių tinkamumą atsižvelgiant į taikymo sąlygas bei veiksmingumą eismo saugumui.

Šiame skyriuje pateikiama transporto priemonių greičio įtakos avaringumui analizė. Taip pat pateikiama inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veiksmingumo eismo saugumui mokslinių tyrimų apžvalga.

Skyriaus tematika paskelbti 3 moksliniai straipsniai (Čygaite *et al.* 2013; Čygaite *et al.* 2014; Jateikienė *et al.* 2016).

## 1.1. Greičio įtakos eismo saugumui analizė

Greitis yra pagrindinis eismo saugumą bloginantis veiksnys, didinantis eismo įvykių atsiradimo tikimybę bei turintis įtakos eismo įvykių pasekmėms (De Haven 1942; Gibson 1961; Haddon 1973). Kuo didesnis greitis, tuo didesnė eismo įvykių tikimybė bei tuo sunkesnės eismo įvykių pasekmės (Global Road Safety Partnership 2008). Greičio įtakos svarbą eismo saugumui parodo Elvik *et al.* (2004) pateikta 10 % skirtingų rizikos veiksnių sumažėjimo įtaka žuvusiųjų sumažėjimui eismo įvykiuose (1.1 lentelė.).

**1.1 lentelė.** Rizikos veiksnių sumažėjimo įtaka žuvusiųjų sumažėjimui (Fridstrøm *et al.* 1995; Nilsson 2004a; Elvik *et al.* 2004)

**Table 1.1.** Influence of risk factors reduction to the decrease of fatalities (Fridstrøm *et al.* 1995; Nilsson 2004a; Elvik *et al.* 2004)

10 % * sumažėjimas	Žuvusiųjų sumažėjimas, %
Eismo intensyvumo	6,5
Pažeidžiamų eismo dalyvių	3,4
Kelionių tamsiu paros metu	1,7
Kelių dangų, padengtų sniegu ar ledu	1,6
Neblaivių vairuotojų	1,0
Saugos diržų neprisigusių keleivių	0,8
Greičio	37,8

\* – apytikslis kitimas.

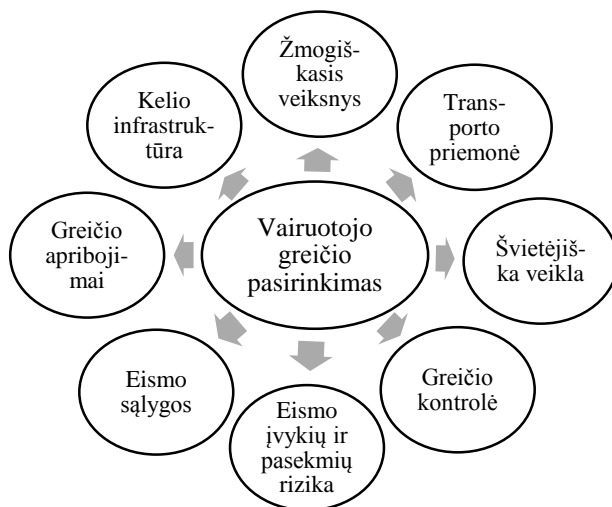
Vairuotojų greičio pasirinkimą lemia daugelis veiksnių (1.1 pav.). Vairuotojo savybės, leistino greičio riba, greičio kontrolė, transporto priemonių (TP) technologijos, kelio infrastruktūra, švietėjiška veikla turi įtakos vairuotojų greičio pasirinkimui (Liu *et al.* 2012). Greičio viršijimą dažnai lemia vairuotojų amžius. Jauni, 18–24 m., vyrai labiausiai linkę viršyti greitį (Palamara, Stevenson, 2003). Daugelis vairuotojų nėra patekę į eismo įvykį, todėl jiems atrodo, kad greičio viršijimas nėra pavojingas (Elliott 2001). Daugeliui vairuotojų atrodo, kad jų viršijamo greičio dydis yra saugus ir tokie vairuotojai nesupranta, kokių tikslų reikia laikytis leistino greičio. Apsvaigimas alkoholiu, narkotinėmis medžiagomis taip pat gali paskatinti greičio viršijimą. Kartais TP esantys keleiviai motyvuoja vairuotoją viršyti greitį. Dažnai vairuotojai derinasi prie kitų kelyje

greitį viršijančių vairuotojų (Connolly, Åberg 1993). Nors dažnai nesugeba tiksliai įvertinti aplinkinių greičio (Liu *et al.* 2012). Kanellaidis *et al.* (1995) nustatė, kad vairuotojai, turintys aukštesnį išsilavinimą, dažniau laikosi leistino greičio. Vairuotojai dažniau laikosi leistino greičio, kai tiki, kad greičio sumažinimas gali padidinti eismo saugumą. Vienas iš svarbiausių veiksnių, turinčių įtakos vairuotojų greičio pasirinkimui, yra leistinas greitis. Juo nurodomas vairuotojams maksimalus greitis, kuris laikomas pagrįstu ir saugiu (Oxley, Corben 2002). Tačiau vairuotojai, kurie yra nusiteikę viršyti greitį, rečiau pastebi greičio ribojimo ženklus, o pastebėję rečiau jų paisy (Warner 2006). Siekiant, kad vairuotojai laikytųsi leistino greičio būtinas visuomenės švietimas. Visuomenė turi žinoti, kokį poveikį greičio viršijimas turi eismo įvykiams ir jų pasekmėms. Taip pat visuomenė turi suprasti, kad leistinas greitis yra maksimalus greitis esant geroms oro sąlygoms. Kai eismo aplinkybės yra blogos, vairuotojai turi važiuoti mažesniu greičiu nei leistinas. Leistino greičio laikymuisi svarbią įtaką turi kelio infrastruktūros informatyvumas (Liu *et al.* 2012). Kelių infrastruktūra gali informuoti apie esamą saugumą ir saugų greitį. Kai kuriais atvejais kelių infrastruktūra fiziškai priverčia vairuotojus neviršyti leistino greičio. Siekiant užtikrinti leistiną greitį ypačingai didelę įtaką turi greičio kontrolė. Greičio kontrolė turi būti plačiai naudojama, gerai matoma ir ilgalaikė, kad pastoviai perspėtų vairuotojus apie pavojingas vietas ir motyvuotų laikytis leistino greičio (Liu *et al.* 2012). Kai kurie vairuotojai bijo bausmės, todėl esant intensyviai greičio kontrolei laikosi leistino greičio. Greičio kontrolės poveikį sustiprina švietimas. Kad greičio kontrolė būtų veiksminga, svarbu, jog vairuotojai suprastų jos poreikį ir teigiamai ją vertintų. Kai vairuotojai jaučia motyvaciją, labiau laikosi leistino greičio. Taip pat intelektinės greičio pritaikymo (Intelligent speed adaptation) sistemos turi teigiamą įtaką greičio valdymui. Šios sistemos įspėja vairuotojus arba automatiškai riboja TP greitį, kai viršijama leistino arba nustatyto greičio riba. Dėl intelektinių greičio pritaikymo sistemų sumažėja TP greitis, greičio skirtumas tarp TP bei greičio pažeidėjų (Young, Lenne, 2010). Tačiau intelektinės greičio pritaikymo sistemos dažnai turi įtakos konkrečiu metu fiksuojamo greičio sumažėjimui, bet neturi poveikio vairuotojų požiūrio keitimui (Liu *et al.* 2012).

Finch *et al.* (1994) atliko TP vidutinio greičio ir eismo įvykių skaičiaus metaanalizę prieš ir po leistino greičio pakeitimo Suomijos, Danijos, Šveicarijos, Amerikos magistraliniuose keliuose. Mokslininkai prieš-po (*before-after*) metodu nustatė, kad 1 km/h vidutinio greičio sumažėjimas 3 % sumažina eismo įvykių skaičių.

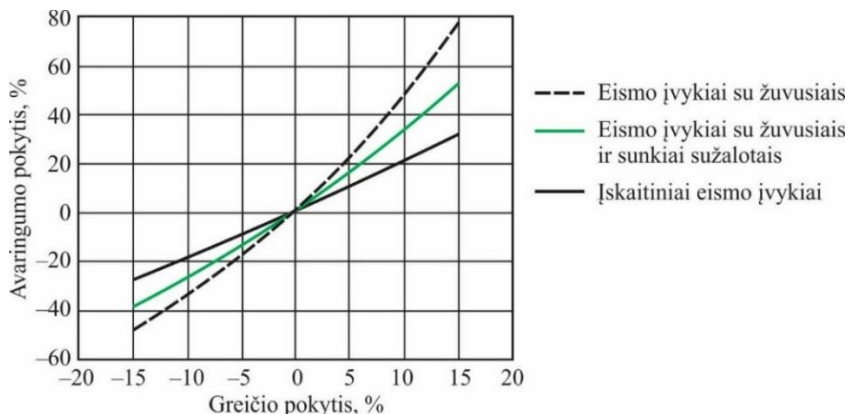
Elvik *et al.* (2004) atlikę detalią greičio pokyčio įtakos eismo įvykių tikimybei bei pasekmėms esamų tyrimų rezultatų analizę, įvertino Švedijos kelių eismo saugumo mokslininko Göran Nilsson pateiktos priklausomybės tarp greičio ir avaringumo (*Power model*) pagrįstumą. Nilsson (2004b) sudarytas teorinis

modelis parodo ryšį tarp greičio pokyčio ir avaringumo pokyčio (1.2 pav.). Vidutiniam greičiui padidėjus 5 %, įskaitinių eismo įvykių padaugėja apie 10 %, o eismo įvykių su žuvusiais padaugėja apie 20 % (Transport Research Centre, 2006). Ir atvirkščiai – vidutiniam greičiui sumažėjus 5 %, įskaitinių eismo įvykių sumažėja apie 10 %, o eismo įvykių su žuvusiais sumažėja apie 20 %.



**1.1 pav.** Greičio pasirinkimą lemiantys veiksniai (Oxley, Corben 2002)

**Fig. 1.1.** Factors affecting speed choice (Oxley, Corben 2002)



**1.2 pav.** Avaringumo pokyčio priklausomybė nuo greičio pokyčio

(Nilsson 2004b; Global Road Safety Partnership 2008)

**Fig. 1.2.** The relationship between percentage change in speed and the percentage change in accidents (Nilsson 2004b; Global Road Safety Partnership 2008)

$$Y_1 = \left( \frac{v_1}{v_0} \right)^A Y_0; \quad (1.1)$$

$$Z_1 = \left( \frac{v_1}{v_0} \right)^A Y_0 + \left( \frac{v_1}{v_0} \right)^{A_p} (Z_0 - Y_0); \quad (1.2)$$

čia  $v_1$  – sumažėjęs/padidėjęs greitis;  $v_0$  – pradinis greitis;  $Y_1$  – eismo įvykių skaičius po greičio sumažinimo/padidininimo;  $Y_0$  – eismo įvykių skaičius prieš greičio sumažinimą/padidininimą;  $Z_1$  – eismo įvykių pasekmės po greičio sumažinimo/padidininimo;  $Z_0$  – eismo įvykių pasekmės prieš greičio sumažinimą/padidininimą;  $A$  – eismo įvykių skaičiaus eksponentė;  $A_p$  – eismo įvykių pasekmių eksponentė. Eksponentės  $A$  reikšmė priklauso nuo eismo įvykio sunkumo. Eismo įvykių su žuvusiais skaičiaus eksponentė  $A$  yra 4, eismo įvykių su žuvusiais ir sunkiai sužalotais – 3, įskaitinių eismo įvykių – 2. Žuvusių skaičiaus eksponentė  $A_p$  yra 8, žuvusių ir sunkiai sužeistų – 6, visų nukentėjusių eismo dalyvių – 4 (Nilsson 2004B). Pavyzdžiui, jeigu vidutinį greitį kelyje sumažintume nuo 100 km/h iki 90 km/h, tai eismo įvykių su žuvusiais turėtų sumažėti 34,4 % (Elvik *et al.* 2004).

Elvik *et al.* (2004) išanalizavę 1966–2004 m. publikuotų mokslinių greičio ir avaringumo ryšio tyrimų rezultatus, patvirtino Nilsson nustatytą priklausomybę tarp šių dviejų kintamųjų. Elvik *et al.* (2004) teigia, kad yra kitų matematinių funkcijų, kurios rodo greičio ir avaringumo priklausomybę, tačiau Nilsson nustatytą priklausomybę dėl bendrumo ir paprastumo yra pranašesnė.

Elvik *et al.* (2004) pakoregavo Nilsson nustatytos priklausomybės tarp greičio ir avaringumo (*Power model*) eksponentės  $A$  reikšmes bei detaliau išskirstė eismo įvykių sunkumą (1.2 lentelė).

Elvik *et al.* (2004) pabrėžia, kad statistiškai reikšmingas ryšys tarp greičio ir eismo saugumo yra pastovus. Kai greitis sumažinamas, eismo įvykių skaičius/sužeistųjų skaičius sumažėja 95 % atvejų. Kai greitis padidinamas, eismo įvykių skaičius/sužeistųjų skaičius padidėja 71 % atvejų. Taip pat teigia, kad priklausomybė tarp greičio pokyčio ir avaringumo pokyčio yra universali. Atlikta mokslinių tyrimų rezultatų analizė parodė, kad greičio ir avaringumo priklausomybė nepriklausė nuo šalies ar laiko, kada buvo atlikti tyrimai.

Aarts, van Schagen (2006), atlikę eismo įvykių priklausomybės nuo greičio tyrimų rezultatų literatūros analizę, teigia, kad didėjant TP greičiui gyvenvietėse eismo įvykių daugėja sparčiau nei didėjant TP greičiui užmiestyje.

Eismo įvykių pasekmėms turi įtakos eismo įvykio rūšis. Ypatingai sunkios pasekmės, kai TP partrenkia pažeidžiamus eismo dalyvius. Yra 90 % tikimybė pėsčiajam išgyventi, kai jį partrenkia TP, kurios greitis smūgio metu 30 km/h

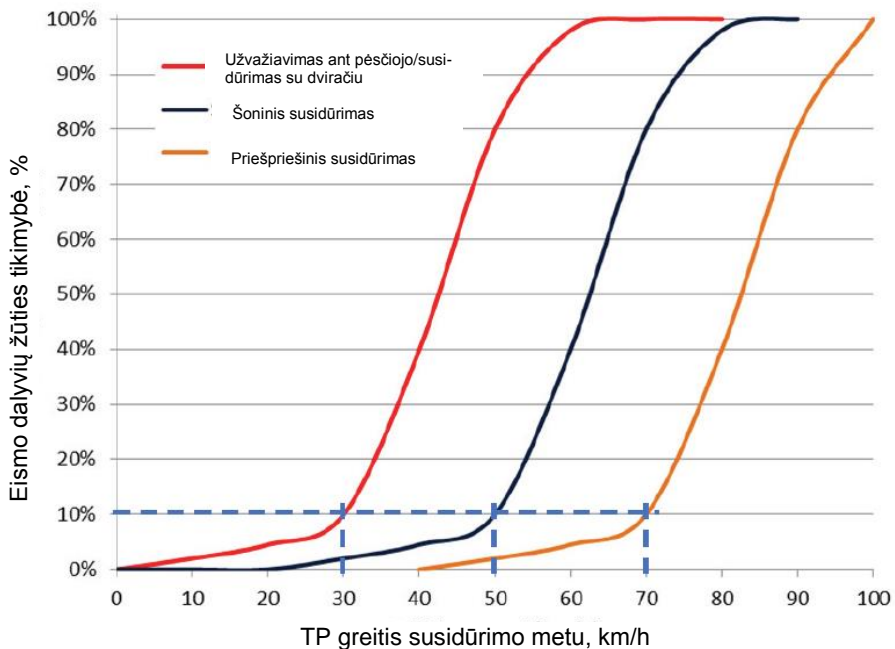
(Transport Research Centre, 2006). TP partrenkiant pėsčiąją 40–45 km/h greičiu, jam likti gyvam yra 50 % tikimybė. Kai TP greitis smūgio metu yra 50 km/h, pėsčiajam likti gyvam lieka tik 20 % tikimybė. Mackay (1997) nurodo, kad eismo įvykių pasekmės priklauso ir nuo eismo dalyvio amžiaus. Eismo dalyviams, kurių amžius virš 60 m., 10 km/h mažesnis greitis gali turėti tokias pat pasekmes kaip eismo dalyviams iki 30 m. Davis (2001) nustatė, kad, kai pėsčiųjų amžius tarp 15–59 m., yra 50 % tikimybė jiems likti gyviems, kai TP greitis smūgio metu siekia net 70 km/h. Tačiau, jeigu pažeidžiamų eismo dalyvių amžius iki 15 m. arba virš 60 m., 50 % tikimybė jiems likti gyviems išlieka, kai TP greitis siekia vos 50 km/h.

**1.2 lentelė.** Eksponentės *A* reikšmės priklausomai nuo eismo įvykių sunkumo (Elvik *et al.* 2004)

**Table 1.2.** Exponent *A* values depending on the severity of accidents (Elvik *et al.* 2004)

Avaringumas	Eksponentė A	95 % pasikliautinumo intervalas
Žuvusių skaičius	4,5	(4,1–4,9)
Sunkiai sužeistų skaičius	3,0	(2,2–3,8)
Lengvai sužeistų skaičius	1,5	(1,0–2,0)
Visų nukentėjusių eismo dalyvių skaičius	2,7	(0,9–4,5)
Eismo įvykiai su žuvusiais	3,6	(2,4–4,8)
Eismo įvykiai su sunkiai sužeistais	2,4	(1,1–3,7)
Eismo įvykiai su lengvai sužeistais	1,2	(0,1–2,3)
Įskaitiniai eismo įvykiai	2,0	(1,3–2,7)
Techniniai eismo įvykiai	1,0	(0,2–1,8)

Wrangborg (2005) pateikia tris kreives, kurios rodo eismo dalyvių tikimybę žūti eismo įvykio metu priklausomai nuo greičio ir eismo įvykio tipo (1.3 pav.). Wrangborg pateiktos kreivės rodo, kad partrenkus pėsčiąją 30 km/h greičiu, jam žūti yra 10 % tikimybė. Tokia pat tikimybė išlieka eismo dalyviams žūti, kai šoninio susidūrimo metu TP greitis 50 km/h, o priešpriešinio susidūrimo metu – 70 km/h. Greičio ir eismo dalyvių žūties tikimybės priklausomybę apibūdinančios kreivės yra nepakankamai aiškiai aprašytos. Nėra aišku ar Wrangborg pateikia vienos TP greitį susidūrimo metu, ar dviejų TP greičių sumą.

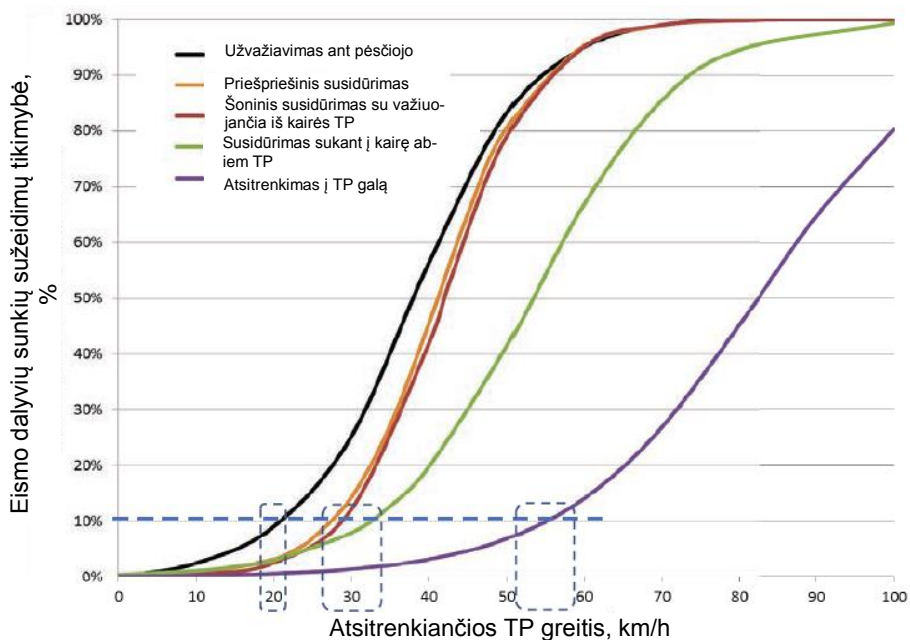


**1.3 pav.** Eismo dalyvių žūties tikimybė priklausomai nuo TP greičio  
(Wrangborg 2005; Jurewicz *et al.* 2016)

**Fig. 1.3.** Fatality probability vs. vehicle collision speeds  
(Wrangborg 2005; Jurewicz *et al.* 2016)

Jurewicz *et al.* (2016) nustatė tikimybę būti sunkiai sužeistam 15–55 metų eismo dalyviui priklausomai nuo TP greičio ir eismo įvykio tipo (1.4 pav.). Jurewicz *et al.* (2016) nustatė, kad partrenkus pėsčiąjį apie 20 km/h greičiu, yra 10 % tikimybė, kad pėsčiasis bus sunkiai sužeistas. Taip pat 10 % tikimybė yra, kad eismo dalyviai bus sunkiai sužeisti, kai šoninio susidūrimo metu važiuojančios iš kairės TP greitis yra apie 30 km/h, o atsitrenkimo į TP galą metu greitis yra apie 55 km/h.

Ne tik TP greitis, bet ir greičio skirtumas tarp transporto priemonių padidina eismo įvykių tikimybę (Solomon 1964; Munden 1967; Cirillo 1968). Didesniu arba mažesniu greičiu negu srauto greitis važiuojančios TP dažniau patenka į eismo įvykį. Tačiau Aarts, van Schagen (2006) teigia, kad naujesni tyrimai neįrodė, jog mažesniu nei srauto greitis važiuojančios TP dažniau patenka į eismo įvykį.



**1.4 pav.** Eismo dalyvių sunkių sužeidimų tikimybė priklausomai nuo TP greičio skirtingų tipų eismo įvykių metu (Jurewicz *et al.* 2016)

**Fig. 1.4.** Proposed model of severe injury probability vs. bullet vehicle impact speeds in different crash types

## 1.2. Inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veiksmingumo analizė

### „Miesto vartai“

Kai valstybinės reikšmės keliai kerta gyvenvietes, dažnai vairuotojai gyvenviečių teritorijose nesumažina greičio iki leistino (DfT 2000, 2005; Hallmark *et al.* 2007; NRA 2005). Todėl vairuotojai turi būti informuojami apie važiavimo režimo pasikeitimą pereinant iš užmiesčio teritorijos į gyvenvietę. Mokslinių tyrimų rezultatai rodo, kad „miesto vartų“ įrengimas gyvenvietės pradžioje turi teigiamą poveikį greičio sumažinimui.

Galante *et al.* (2010) nustatė skirtingų eismo saugumą gerinančių priemonių grupių įtaką per gyvenvietę pravažiuojančių TP greičio sumažėjimui. Tyrimas atliktas vairavimo imituokliu (simulator). Tyrime dalyvavo 27 vairuotojai, kurie turėjo vairuotojo pažymėjimą. Taip pat TP greitis fiksuotas gyvenvietėje per kurią nutiestas SP39 greitkelis. Gyvenvietės teritorijoje nėra įrengtų inžinerinių greičio



reguliavimo priemonių. Gyvenvietės pradžiose, pietų kryptimi važiuojančių TP greitis 91 km/h, o šiaurės kryptimi – 78 km/h. Panaudojant Kolmogorov ir Smirnov kriterijų (Kolmogorov–Smirnov test) buvo nustatyta, kad nėra reikšmingo skirtumo tarp TP greičio, užfiksuoto tirtame greitkelyje ir greičio, užfiksuoto vairavimo imituokliu. Todėl toliau sudarytų dviejų priemonių grupių variantų poveikis greičio sumažėjimui ištirtas vairavimo imituokliu. Pirmojo varianto grupę sudaro mažo biudžeto priemonės: artėjant prie gyvenvietės įrengiamos skersinės triukšmo juostos; už 70 m įrengiami skersiniai optiniai barjerai (transverse optical bars) – ženklintos linijos, kurių plotis palaipsniui didėja, o tarpai tarp jų mažėja; po to 100 m atstume įrengiami periferiniai skersiniai barjerai (peripheral transverse bars) – 0,44 m ilgio nuo eismo juostos kraštų paženklintos linijos; ties gyvenvietės pradžia įrengiama žaluma apauginta santvarinė rėminė gyvenvietės pradžios ženklų atrama; taip pat 5 m pločiu raudonai paženklinama danga, imituojant plytų juostą. Antruoju variantu gyvenvietės pradžioje įrengiami „miesto vartai“ su iškilia saugumo salele, kurie važiuojamąją dalį iškreivina į gyvenvietę įvažiuojančioms TP bei žaluma apauginta santvarinė rėminė gyvenvietės pradžios ženklų atrama. Atlikus klasterinę duomenų analizę (cluster analysis) nustatyta, kad pietų kryptimi važiuojančių TP greitis pirmuoju variantu sumažėjo 16 km/h, o antruoju variantu 17 km/h. Greitis pradedamas mažinti likus iki gyvenvietės pradžios apie 400 m. Šiaurės kryptimi važiuojančių TP greitis abiem variantais sumažėjo 11 km/h. Iš tyrimo rezultatų galima daryti išvadą, kad greičio pokyčio didumui turėjo įtaką ne priemonių grupės variantas, o pradinis greičio viršijimo dydis.

Ariën *et al.* (2014) nustatė „miesto vartų“ poveikį greičio pokyčiui, priemonės veikimo atkarpos ilgį ir poveikį vairuotojams, kurie „miesto vartus“ pravažiuoja nuolat. Tirtas „miesto vartų“ poveikis, kai jie įrengti pereinant iš 70 km/h greičio ribojimo (užmiesčio teritorija) į 50 km/h (gyvenvietės pradžia). Tyrime dalyvavo 17 vairuotojų, kurie turėjo vairuotojo pažymėjimą. Tyrimas atliktas vairavimo imituokliu (simulator). Atlikus duomenų dispersinę analizę (MANOVA), nustatyta, kad „miesto vartų“ įrengimas turi įtakos vidutiniam TP greičio sumažėjimui (1,2–4 km/h) nuo 200 m atstumo prieš įvažiuojant į gyvenvietę iki 100 m atstumo įvažiavus į gyvenvietę. 100–200 m atstume už „miesto vartų“ greitis didėja. Po to vairuotojai važiuoja tokiu pat greičiu, kaip važiavo, kol nebuvo įrengti „miesto vartai“. Taip pat tyrimas parodė, kad „miesto vartai“ turi poveikį greičio sumažėjimui veikimo atkarpoje ir tiems vairuotojams, kurie „miesto vartus“ pravažiuoja nuolat.

Lantieri *et al.* (2015) ištyrė skirtingų tipų „miesto vartų“ poveikį greičio sumažėjimui. Tirta SP610 kelyje esantys „miesto vartai“, kurie įrengti 6 Italijos gyvenviečių pradžiose. Tyrimo rezultatai rodo, kad „miesto vartų“ saugumo salelės tipas bei atlankos laipsnis turi svarbią reikšmę greičio sumažėjimui. Naudojant chi kvadrato statistiką (chi-square statistic) įvertintas prieš-po priemonės įrengimo greičio pokyčio reikšmingumas. Nustatyta, kad „miesto vartų“ įrengimas su iškilia saugumo salele, kurios atlanka 4°, turėjo įtakos 7,45 km/h faktiniam greičio

pagal 85-ojo procentilio reikšmę sumažėjimui, o „miesto vartų“ įrengimas su ženklinta saugumo salele, kurios atlanka 3°, neturėjo reikšmingos įtakos greičio sumažėjimui. Atlikus įskaitinių eismo įvykių analizę prieš ir po „miesto vartų“ įrengimo nustatyta, kad įskaitinių eismo įvykių sumažėjo 50,4 %, sužeistųjų – 61,1 %, žuvusiųjų – 100 %.

### **Iškilios greičio reguliavimo priemonės**

Rahman *et al.* (2009) apklausę Šiaurės Amerikos, Australijos ir Europos transporto institucijų ekspertus, padarė išvadą, kad trapecinių greičio reguliavimo kalnelių (GRK) įrengimas gali padėti išspręsti daugelį gyvenvietėms būdingų problemų: greičio viršijimo; didelio srauto gyvenvietę pravažiuojančių TP; eismo įvykių; neužtikrinto pėsčiųjų saugumo dėl šaligatvių trūkumo, siauro kelio.

Huang, Cynecki (2000) ištyrė Kembridže įrengtos iškilios sankryžos poveikį pėsčiųjų elgesiui. Naudojant chi kvadrato statistiką (chi-square statistic) įvertintas per pėsčiųjų perėją kertantis kelių pėsčiųjų srautas prieš ir po iškilios sankryžos įrengimo. Įrengus iškilią sankryžą nustatytas statistiškai reikšmingas jos veiksmingumas – po priemonės įrengimo daugiau pėsčiųjų pradėjo kirsti kelią per pėsčiųjų perėją. Galima daryti išvadą, kad daugiau pėsčiųjų jautėsi saugesni kirsdami kelią pėsčiųjų perėjoje po greta įrengtos iškiliosios sankryžos.

Garcia *et al.* (2011) nustatė atstumo tarp trapecinių GRK įtaką kelio pralaidumui. Pradžioje tyrimas atliktas 5 Ispanijos keliuose, kertančiuose gyvenvietes. Pagal tyrimo rezultatus patikslinta kelio pralaidumo modeliavimo mikroskopiniu lygiu programa VISSIM 5.1, kuri panaudota nustatant pralaidumą priklausomai nuo atstumo tarp GRK. Nustatytos dvi ribinės reikšmės: 400 m atstumas ir 50 m atstumas. Rezultatai parodė, kad nuo 400 m iki 100 m atstumas tarp GRK pralaidumui turi vienodą poveikį. Esant mažesniui atstumui tarp GRK nei 50 m pasiekiamas didesnis priemonių veiksmingumas, kai vairuotojai nebepadidina greičio iki norimo. Esant tokiam atstumui kelio pralaidumas stipriai sumažėja.

Antić *et al.* (2013) ištyrė skirtingo aukščio, bet vienodų kitų geometrinių parametrų, apskritiminių GRK poveikį greičio sumažėjimui. Tyrimas atliktas trijuose Belgrado kelių ruožuose, kuriuose leistinas greitis 50 km/h. TP greitis matuotas slapta. Tyrimas atliktas darbo dienomis esant laisvam srautui (kai nėra TP spūsčių). Naudojant Tukey-Kramer sudėtinį palyginimo testą (Tukey-Kramer multiple comparison test) įvertintas prieš ir po kalnelių įrengimo greičio pokytis. Nustatyta, kad kuo aukštesni GRK, tuo mažesnis greitis tarp 50 m atstumu įrengtų kalnelių. 3 cm aukščio apskritiminių GRK įrengimas turėjo įtakos faktiniam greičio pagal 85-ojo procentilio reikšmę sumažėjimui nuo 56 km/h iki 50 km/h, 5 cm aukščio GRK įrengimas – nuo 67 km/h iki 41 km/h, 7 cm aukščio GRK įrengimas – nuo 57 km/h iki 35 km/h. Taip pat tyrimu nustatyta, kad greičio sumažėjimas yra ilgalaikis – nebuvo nustatytas reikšmingas greičio skirtumas matuojant greičius skirtingu laikotarpiu po kalnelių įrengimo (po 1 d. ir po 1 mėn.).

Chen *et al.* (2013) nustatė Niujorke įrengtų trapecinių GRK poveikį įskaitinių eismo įvykių sumažėjimui. Tyrimo imtį sudarė 601 kelio ruožas. Priemonės poveikis įvertintas panaudojus prieš ir po metodą su pritaikyta palyginamąja grupę. Nustatyta, kad įskaitinių eismo įvykių sumažėjo 33,46 %, susidūrimų – 8,82 %, o užvažiuavimų ant pėsčiųjų – 41,63 %.

Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose iškilios greičio reguliavimo priemonės naudojamos plačiai. Atrinkus tas, kurių veikimo atkarpose buvo užfiksuotų įskaitinių eismo įvykių ir yra žinomi įrengimo metai, paprastuoju prieš-po (*before-after*) metodu nustatytas šių iškilų greičio reguliavimo priemonių veiksmingumas avaringumo sumažėjimui. Analizės rezultatai rodo, kad kelių ruožuose, kuriuose įrengti trapeciniai GRK, įskaitinių eismo įvykių sumažėjo apie 36 %, žuvusiųjų – 100 %, sužeistųjų – apie 45 % (Čygaite *et al.* 2014). Ruožuose, kuriuose įrengtos iškilios pėsčiųjų perėjos, įskaitinių eismo įvykių sumažėjo apie 65 %, žuvusiųjų – apie 83 %, o sužeistųjų – apie 68 %. Ruožuose, kuriuose įrengti apskritiminiai GRK, įskaitinių eismo įvykių sumažėjo apie 73 %, sužeistųjų – apie 77 %.

Anisimovas, Jasiūnienė (2016) nustatė Lietuvos valstybinės reikšmės krašto keliuose įrengtų iškilų pėsčiųjų perėjų poveikio koeficientus, atsižvelgiant į įrengimo vietą ir eismo įvykių sunkumą. Ištirta 18 (55 % visų priemonių) iškilųjų pėsčiųjų perėjų, įrengtų sankryžų zonose ir 22 (45 % visų priemonių) – įrengtų tiesiuose kelių ruožuose. Priimta, kad sankryžų zonose įrengtų iškilųjų pėsčiųjų perėjų veikimo atkarpa 200 m, o tiesiuose ruožuose įrengtų – 120 m. Priemonių veiksmingumas tirtas naudojant prieš-po (*before-after*) metodą su palyginamąja grupe panaudojant galimybių santykio teoriją. Nustatyta, kad iškilųjų pėsčiųjų perėjų įrengimas tiesiuose ruožuose turi didžiausią įtaką eismo įvykiams su žuvusiais sumažėjimui. Po priemonės įrengimo tokių eismo įvykių sumažėjo 21 % (priemonės poveikio koeficientas 0,79). Iškilųjų pėsčiųjų perėjų įrengimas sankryžų zonose turi didžiausią įtaką eismo įvykiams su sužeistais sumažėjimui. Po priemonės įrengimo tokių eismo įvykių sumažėjo 42 % (priemonės poveikio koeficientas 0,58).

LTN 1/07 *Traffic Calming* (2007) rekomendacijose nurodoma iškilų greičio reguliavimo priemonių maksimali veikimo atkarpa. Kai šios priemonės taikomos kaip grupė, tarp jų turi būti ne didesnis kaip 150 m atstumas. Tais atvejais, kai leistinas greitis yra 32 km/h (20 mph), atstumas tarp priemonių turi būti ne didesnis kaip 60–70 m.

Leidinyje „*An Improve Traffic Enviroment: A catalogue of Ideas*“ (1993) rekomenduojami atstumai tarp iškilų greičio reguliavimo priemonių, priklauso nuo leistino greičio (1.3 lentelė).

Ataskaitoje „*Design and implementation of speed humps*“ (1997) rekomenduojami atstumai tarp iškilų greičio reguliavimo priemonių pateikiami taip pat priklausomai nuo leistino greičio (1.4 lentelė). Ataskaitoje nurodoma, kad greičio reguliavimo priemonės neturėtų būti įrengiamos tankiau kaip 50 m.

**1.3 lentelė.** Priklausomai nuo leistino greičio rekomenduojamas atstumas tarp iškilių greičio reguliavimo priemonių („An Improve Traffic Enviroment...” 1993)

**Table 1.3.** Recommended distance between vertical speed calming measures depending on the speed limit („An Improve Traffic Enviroment...” 1993)

Leistinas greitis, km/h	Didžiausias atstumas tarp iškilių greičio reguliavimo priemonių, m
50	250
40	150
30	75

**1.4 lentelė.** Priklausomai nuo leistino greičio rekomenduojamas atstumas tarp iškilių greičio reguliavimo priemonių („Design and implementation...” 1997)

**Table 1.4.** Recommended distance between vertical speed calming measures depending on the speed limit („Design and implementation...” 1997)

Leistinas greitis, km/h	Didžiausias atstumas tarp iškilių greičio reguliavimo priemonių, m
50	200
45	150
40	100
35	50

### Momentinio greičio matuokliai

Jungtinės Karalystės Transporto departamento mokslinių tyrimų ataskaitoje (2004 m.) paskelbta, kad momentinio greičio matuoklių diegimas veiksmingas TP greičio bei avaringumo sumažinimui. Tyrimais nustatyta, kad po matuoklių įdiegimo daugiau nei 20 km/h greičio viršijimo atvejų prietaisų įrengimo vietose sumažėjo 80 %. Po matuoklių įdiegimo 33 % sumažėjo įskaitinių eismo įvykių, 40 % sumažėjo žuvusių arba sunkiai sužeistų skaičius.

Norvegijos kelių direkcijos mokslinių tyrimų ataskaitoje (2011) nurodoma, kad momentinio greičio matuoklių poveikis greičio sumažėjimui priklauso nuo viršijamo greičio dydžio prieš prietaisų įdiegimą. Didžiausias greičio sumažėjimas fiksuojamas matuoklių įrengimo vietose. Taip pat nurodoma, kad greičio sumažėjimas tęsiasi iki 2,5–3,0 km atstume nuo matuoklio.

Andersson, Larsson (2005) nustatė Švedijos keliuose įdiegtų momentinio greičio matuoklių veiksmingumą. Matuoklių poveikis vidutiniam TP greičiui nustatytas ištyrus greičio duomenis prieš ir po priemonės įdiegimo. Gauta, kad kelių

ruožuose, kuriuose prieš momentinio greičio matuoklių įrengimą vidutinis greitis buvo 95 km/h, po matuoklių įrengimo greitis sumažėjo apie 8 km/h matuoklių įrengimo vietose ir apie 5 km/h tarp jų. Taip pat nustatyta, kad matuoklių įdiegimas turėjo statistiškai reikšmingą įtaką avaringumo sumažėjimui. Po matuoklių įdiegimo apie 50 % sumažėjo eismo įvykių su žuvusiais bei žuvusiųjų ir apie 25 % – sunkiai sužeistųjų. Įvertinus tyrimo rezultatus apskaičiuota, kad matuoklių diegimas yra ekonomiškai atsiperkanti eismo saugumo priemonė.

Mountain *et al.* (2004) nustatė momentinio greičio matuoklių įtaką TP greičiui ir veikimo atkarpos ilgį Jungtinės Karalystės keliuose, kuriuose leistinas greitis 48 km/h (30 mph). Įvertinus 62 matuoklių poveikį įskaitinių eismo įvykių sumažėjimui nustatyta, kad didžiausias priemonės veiksmingumas yra iki 250 m prieš ir iki 250 m už priemonės įrengimo vietos. Šioje priemonės veikimo atkarpoje nustatytas statistiškai reikšmingas 25 % įskaitinių eismo įvykių sumažėjimas.

Hess (2004) analizavo Kembridžsyre įdiegtų 49 momentinio greičio matuoklių veiksmingumą skirtingu atstumu nuo įrengimo vietos. Tiksliam matuoklių poveikio nustatymui buvo įvertintas kitų kintamųjų kitimas laike. Kaip ir Mountain *et al.* (2004) Hess (2004) atlikęs išsamią statistinę analizę nustatė, kad didžiausias įskaitinių eismo įvykių sumažėjimas yra atstume iki 250 m nuo matuoklio į abi puses. Didėjant atstumui mažėja priemonės veiksmingumas: iki 250 m atstume įskaitinių eismo įvykių po matuoklių įdiegimo sumažėjo 45,74 %; iki 500 m – 41,30 %; iki 1 km – 31,62%; iki 2 km – 20,86 %. Tyrimo rezultatai rodo, kad matuoklių įdiegimas turi poveikį ne tik ties įrengimo vieta, bet ir ilgesniame atstume. Taip pat Hess (2004) palygino momentinio greičio matuoklių veiksmingumą tarp skirtingų grupių: tarp magistralinių (*A-roads*) ir žemesnės kategorijos (*non-A-roads*) kelių; tarp gyvenviečių ir užmiesčio kelių. Nustatyta, kad didėjant atstumui nuo matuoklio, mažėja veiksmingumas magistraliniuose keliuose bei užmiestyje. Žemesnės kategorijos keliuose ir gyvenvietėse didžiausias priemonės veiksmingumas nustatytas iki 500 m atstume nuo matuoklio į abi puses.

Liu *et al.* (2011) taip pat nustatė momentinio greičio matuoklių veikimo atkarpą. Tirti greičio duomenys, užfiksuoti skirtingu atstumu nuo matuoklių, įdiegtų Kinijos greitkelio septyniose vietose. Nustatyta, kad matuokliai reikšmingai sumažina greitį bei jį viršijančių vairuotojų procentą. Matuoklių veikimo atkarpa yra trumpesnė nei 1 km. Vairuotojai pradeda lėtinti TP apie 300–400 m atstumu iki matuoklio, o apie 300–400 m atstumu už matuoklio įrengimo vietos – būna pasiekę pradinį greitį.

Carnis, Blais (2013) įvertino Prancūzijoje įdiegtų momentinio greičio matuoklių veiksmingumą avaringumo sumažėjimui panaudojant nutrauktą laiko eilutės analizę (*interrupted time-series analyses*). Po matuoklių įdiegimo nustatytas reikšmingas eismo įvykių su žuvusiais, tenkančių 100 000 TP, sumažėjimas 21 % ir eismo įvykių su sužeistais – 26,2 %. Nustatyta, kad priemonės poveikis eismo

įvykių su žuvusiais sumažėjimui yra ilgalaikis, o eismo įvykių su sužeistais – laikui bėgant yra mažėjantis.

De Pauw *et al.* (2014a) ištyrė momentinių greičio matuoklių poveikį TP greičio sumažėjimui. Tyrimas atliktas dviejuose Belgijos automagistralėse, kuriose leistinas greitis 120 km/h. Greičio duomenys fiksuoti po savaitę prieš-po priemonės įrengimo kiekviename kelyje penkiuose taškuose: 2,5–3 km atstumu prieš matuoklio įrengimo vietą; ties informaciniu ženklu; ties matuokliu; 1 km ir 3,3–3,8 km atstumu už matuoklio įrengimo vietos. Kiti kintamieji, galintys turėti įtakos TP greičio sumažėjimui, įvertinti parinkus palyginamąją grupę. Panaudojus tiesinį regresijos modelį su normaliuoju skirstiniu ir ryšio funkcija (linear regression model with normal distribution and identity link function) nustatyta, kad matuoklių įrengimas turėjo įtakos 6,4 km/h vidutinio TP greičio sumažėjimui. Panaudojus logistinį regresijos modelį su Bernoulli skirstiniu ir logito ryšio funkcija (logistic regression model with binomial distribution and logit link function) nustatyta, kad 80 % sumažėjo vairuotojų, kurie viršija leistiną greitį bei 86 % – kurie viršija leistiną greitį daugiau kaip 10 %. Palyginus momentinio greičio matuoklių poveikį tirtuose keliuose, nustatyta, kad didesnis greičio sumažėjimas užfiksuotas kelyje, kuriame prieš matuoklio įrengimą greičio viršijimas buvo didesnis. Tyrimu nustatyta, kad didžiausias matuoklių veiksmingumas yra ties įrengimo vieta. Prieš ir už matuoklių įrengimo vietos priemonės veiksmingumas yra mažas.

Taip pat De Pauw *et al.* (2014b) įvertino Belgijos greitkelyje įrengtų 65 momentinio greičio matuoklių poveikį eismo saugumui. Prieš-po metodu, įvertinus bendrą nagrinėjamo laikotarpio avaringumo kitimą, po priemonės įdiegimo nustatytas nereikšmingas 8 % įskaitinių eismo įvykių sumažėjimas bei statistškai reikšmingas 29 % sumažėjimas eismo įvykių su žuvusiais ir sunkiai sužeistais. Rezultatai gauti pasirinkus, kad matuoklio veikimo atkarpa yra po 500 m prieš ir už įrengimo vietos. Iš duomenų analizės nustatyta, kad 500–1000 m atstumu nuo matuoklio įrengimo vietos priemonė yra neveiksminga – tiek įskaitinių eismo įvykių, tiek eismo įvykių su žuvusiais ir sunkiai sužeistais padaugėja.

Luoma *et al.* (2012) įvertino matuokliuose nustatomos greičio ribos, nuo kurios fiksuojamas TP greitis, sumažinimo įtaką eismo saugumo didinimui. Tyrimas atliktas dviejų eismo juostų užmiesčio keliuose. Momentinio greičio matuokliuose nustatoma greičio riba sumažinta nuo 20 km/h iki 4 km/h. Apie pakeistą fiksuojamo greičio ribą buvo paskelbta viešai, o prieš eksperimentinį ruožą vairuotojai buvo perspėjami informaciniu ženklu. Greičio duomenys fiksuoti prieš-po pakeitimo. Tiksliam greičio pokyčio tirtose vietose duomenų vertinimui, nustatytas greičio kitimas palyginamojoje grupėje, kurioje matuokliai veikė įprastai. Tyrimo rezultatai rodo, kad po matuokliuose nustatomo greičio ribos sumažinimo, gautas statistškai reikšmingas 2,5 km/h vidutinio TP greičio sumažėjimas. Greičio duomenų standartinis nuokrypis sumažėjo 1,1 km/h ir leistiną greitį viršijančių vairuotojų sumažėjo 11,8 %. Mokslininkai panaudoję Nilsson nustatytą priklausomybę tarp greičio ir avaringumo (Power model)

apskaičiavo, kad sumažėjus vidutiniam TP greičiui 2,5 km/h, eismo įvykių su žuvusiais tikimybė turėtų sumažėti 10,2 %.

Vairuotojai labiau pritaria greičio kontrolės sistemai, kai momentinio greičio matuokliai yra matomi (Soole *et al.* 2009).

Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose 2008–2009 m. buvo įrengtas 151 momentinio greičio matuoklis (Policijos departamentas... 2010). Atliekant šių matuoklių veiksmingumo vertinimą avaringumo sumažėjimui, buvo priimta, kad matuoklių veikimo atkarpa yra 2,00 km – po 1,00 km iš abiejų momentinio greičio matuoklio pusių. Veiksmingumas įvertintas paprastuoju prieš-po (*before-after*) metodu. Nustatyta, kad po momentinio greičio matuoklių įrengimo jų veikimo atkarpoje įskaitinių eismo įvykių bei žuvusiųjų skaičius sumažėjo po 40 %, o sužeistųjų skaičius – 45 % (Čygaitė *et al.* 2013). Nevertinant įskaitinių eismo įvykių, kurie įvyko dėl papildomų veiksmų (neblaivių vairuotojų kaltės, neturėjusių teisės vairuoti vairuotojų kaltės, susidūrimų su gyvūnais), po matuoklių įrengimo įskaitinių eismo įvykių skaičius sumažėjo 32 %, žuvusiųjų – 33 %, sužeistųjų – 36 %.

### Momentinio greičio švieslentės

Jungtinės Karalystės transporto ministerijos užsakymu atliktas momentinio greičio švieslenčių poveikio TP greičiui ir avaringumui tyrimas (Winnett, Wheeler 2012). Greičio duomenys fiksuoti prieš ir po priemonės įdiegimo mažiausiai po savaitę. Švieslenčių veiksmingumas tirtas esant skirtingiems leistiniams greičiams. Nustatyta, kad dviejų važiuojamųjų dalių kelyje, kuriame leistinas greitis 80 km/h (50 mph), po švieslenčių įrengimo vidutinis greitis sumažėjo 5,8–7,4 km/h (3,6–4,6 mph). Keliuose, kuriuose leistinas greitis 64 km/h (40 mph), po švieslenčių įrengimo vidutinis greitis sumažėjo 1,9–7,1 km/h (1,2–4,4 mph), o keliuose, kuriuose leistinas greitis 48 km/h (30 mph) – 4,2–11,4 km/h (2,6–7,1 mph). Tyrimo rezultatai nerodo, kad švieslenčių veiksmingumas mažėja bėgant laikui. Taip pat nustatyta, kad švieslenčių įrengimas turi įtakos įskaitinių eismo įvykių sumažėjimui.

Jeihani *et al.* (2012) ištyrė momentinio greičio švieslenčių poveikį TP greičiui trijuose keliuose, kuriuose skirtingas leistinas greitis: 40 km/h (25 mph); 56 km/h (35 mph); 72 km/h (72 mph). Greičio duomenys buvo fiksuojami prieš ir po priemonės įrengimo. Mokslininkų grupė duomenis išanalizavo skirtingais statistiniais modeliais. T-testas (t-test) parodė, kad švieslenčių poveikis yra laikinas – veiksmingumas laikui bėgant mažėja. Taip pat nustatyta, kad momentinio greičio švieslenčių veikimo atkarpa yra trumpa – vairuotojai pravažiuojant švieslentę greitį padidina.

Gehlert *et al.* (2012) ištyrė trijų tipų momentinio greičio švieslenčių poveikį TP greičio sumažėjimui. Tyrimas atliktas Berlyne. Skirtingų tipų švieslenčių poveikis tirtas toje pačioje vietoje, kurioje leistinas greitis 30 km/h. TP greitis ties švieslentėmis buvo fiksuojamas 1 mėn. prieš įrengimą, 2–3 mėn. po įrengimo ir

1–6 mėn. po demontavimo. Nustatyta, kad momentinio greičio švieslentės turi statistiškai reikšmingą įtaką 0,7–3 km/h vidutinio greičio sumažėjimui, 1,0–3,0 km/h faktiniam greičio sumažėjimui pagal 85-ojo procentilio reikšmę bei 6,6–28,6 % leistiną greitį viršijančių vairuotojų sumažėjimui. Mažam greičio sumažėjimui gali turėti įtakos tai, kad prieš priemonės įrengimą vidutinis TP greitis buvo artimas leistinam. Po priemonės nuėmimo TP greitis išliko toks pat, kaip prieš švieslentės įrengimą. Pagal Cohen klasifikavimą švieslentė su žodinėmis reikšmėmis – žalios spalvos „Ačiū“ arba raudonos spalvos „Lėčiau“, labiausiai sumažina greitį. Antroje vietoje švieslentė su skaitinėmis reikšmėmis, atitinkančiomis faktinį greitį, kuris pateikiamas raudonos arba žalios spalvos. Mažiausiai greitį sumažina švieslentė tik su skaitinėmis faktinio greičio reikšmėmis.

Lietuvoje momentinio greičio švieslentės pradėtos taikyti nuo 2008 m. Stanelis (2014) tyrė Kauno apskrities gyvenvietėse įrengtų priemonių poveikį greičiui. Tyrimas apėmė kelių ruožus, kuriuose leistinas greitis 50 km/h. Tyrimu nustatyta, kad švieslentės, pateikiančios skaitines faktinio greičio reikšmes su užrašu „JŪSŲ GREITIS“, sumažina vidutinį TP greitį nuo 0,65 km/h iki 2,61 km/h. Švieslentės, pateikiančios skaitines faktinio greičio reikšmes su papildomai įrengtu draudžiamuoju kelio ženklu Nr. 329 „Ribojamas greitis“, sumažina vidutinį greitį nuo 0,43 km/h iki 1,86 km/h. Tyrimo rezultatai rodo, kad ir vidutinis greitis ties švieslentėmis sumažėja, tačiau vis tiek 42–79 % vairuotojų viršija leistiną greitį.

Lee et al. (2013a; b) atliko Korėjos kelyje įrengtų inžinerinių greičio reguliavimo priemonių (traffic calming measures) poveikio tyrimą TP greičio sumažėjimui. Užfiksuoti greičio duomenys kelyje, kuriame įrengti penki 3 m ilgio ir trys 4 m ilgio apskritiminiai GRK, penki 6 m ilgio trapeciniai GRK, du 100 m ilgio važiuojamosios dalies iškreivinimai (fiziniai iškreivinimai iš abiejų kelio pusių). Tyrimo vietoje leistinas greitis 50 km/h. Tyrimo metu surinkti greičio duomenys suvesti į modeliavimo programą VISSIM, kuria mokslininkai patikrino tiriamų greičio reguliavimo priemonių veiksmingumą vienodo ilgio atkarpoje (svarbi sąlyga, nes kai kuriais atvejais įgyvendintų priemonių veikimo atkarpos persidengia) bei esant vienodam TP srautui. Pritaikius dispersinę analizę (ANOVA) nustatyta, kad priemonių įtakos vidutiniam TP greičiui skirtumas yra reikšmingas. Didžiausią poveikį greičio sumažėjimui turi važiuojamosios dalies iškreivinimas.

Kai kurių inžinerinių greičio reguliavimo priemonių veiksmingumas nėra detalai ištirtas. Viena iš tokių priemonių yra saugumo salelės. Iki 2011 m. pavasario Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose buvo įrengtos 354 įvairaus tipo saugumo salelės. Atrinkus saleles, kurių veikimo atkarpose buvo užfiksuotų įskaitinių eismo įvykių ir yra žinomi įrengimo metai, paprastuoju prieš-po (*before-after*) metodu nustatytas šių saugumo salelių veiksmingumas eismo saugumo didinimui. Po iškilių saugumo salelių įrengimo pagrindiniame kelyje įskaitinių eismo įvykių skaičius sumažėjo 35,7 %, žuvusiųjų – 28,6 %, o sužeistųjų – 40,0 % (Jateikienė



*et al.* 2016). Horizontaliojo ženklinimo saugumo salelių su lanksčiais šviesą atspindinčiais stulpeliais įrengimas taip pat turėjo teigiamą poveikį avaringumo sumažėjimui: įskaitinių eismo įvykių skaičius sumažėjo 72,7 %, žuvusiųjų – 66,7 %, o sužeistųjų – 77,8 %. Kitų tipų saugumo salelių veiksmingumas nevertintas dėl mažos imties.

Lietuvoje neseniai pradėto taikyti triukšmo juostų įrengimo skiriamąjoje juostoje veiksmingumas avaringumo sumažinimui jau ištirtas užsienio šalyse. *Sayed et al.* (2010) įvertino šios priemonės poveikį Kanados dviejų eismo juostų užmiesčio keliuose. Prieš-po (*before-after*) metodu panaudojant empirinį Bajeso metodą nustatyta, kad triukšmo juostų įrengimas skiriamąjoje juostoje priešpriešinių susidūrimų bei nuvažiavimų nuo kelio, kertant kairę eismo juostą, sumažino 29,3 %. Taip pat *Persaud et al.* (2016) prieš-po (*before-after*) metodu panaudojant empirinį Bajeso metodą, nustatė dviejų eismo juostų kelių skiriamąjoje juostoje įrengtų triukšmo juostų poveikį avaringumo sumažėjimui. Tyrimui naudoti duomenys iš užmiesčio kelių, nutiestų trijose JAV valstijose. Gauti tyrimo rezultatai rodo statistiškai reikšmingą visų tipų eismo įvykių sumažėjimą. Skiriamąjoje juostoje įrengtos triukšmo juostos turėjo didžiausią įtaką priešpriešinių susidūrimų sumažėjimui – šio tipo eismo įvykių sumažėjo 36,8 % (priemonės poveikio koeficientas 0,632). Tyrimu nustatytas visų eismo įvykių tipų (išskyrus eismo įvykių su gyvūnais ir sankryžose įvykstančių eismo įvykių) bendras priemonės poveikio koeficientas įskaitiniams eismo įvykiams yra 0,771. Triukšmo juostų įrengimo skiriamąjoje juostoje naudos–kaštų analizė parodė aukštą ekonominį atsipirkamumą.

*Orr et al.* (2015) tyrė Niujorko automagistralėje 110 žaliai dažytų kelkraščių įtaką greičio mažinimui. TP greičio prieš-po kelkraščių dažymą duomenų analizė atlikta, naudojant standartinį statistinį dviejų imčių *t*-testą (*two sample t-test*). Mokslininkai nustatė, kad dažyti kelkraščiai neturi poveikio greičio sumažėjimui: krovinių TP greitis padidėjo apie 1,6 km/h (1 mph), o kitų tipų TP greičio pokytis nenustatytas.

Išanalizavus mokslinių tyrimų rezultatus galima teigti, kad plačiai naudojamos inžinerinės greičio reguliavimo ir kontrolės priemonės turi reikšmingą poveikį eismo saugumo didinimui, tačiau jų veikimo atkarpą yra ribota.

### 1.3. Vidutinio greičio matavimo sistemos įrengimo vietų ir veiksmingumo analizė

Siekiant, kad eismo saugumo gerinimo priemonė būtų veiksminga ilgesnėje atkarpoje nei 1.2 poskyryje išanalizuotų priemonių, diegiama vidutinio greičio matavimo sistema (VGMS). Olandijoje, Jungtinėje Karalystėje, Austrijoje ir Italijoje ši sistema veikia daugelį metų. Kitose šalyse ši inžinerinė greičio kontrolės priemonė yra pakankamai nauja.

Norvegijos kelių direkcijos mokslinių tyrimų ataskaitoje (2011) nurodoma, kad diegiant VGMS, būtina įrengti informacinius kelio ženklus (1.5 pav.). Juose pateikiama informacija turi būti aiški, kad vairuotojams nekiltų abejonių, kokio ilgio kelio ruože matuojamas vidutinis greitis.



**1.5 pav.** Vidutinio greičio matavimo sistemos informacinio kelio ženklo pavyzdys (Norwegian Public Roads Administration 2011)

**Fig. 1.5.** Sample of information road sign of average speed enforcement system (Norwegian Public Roads Administration 2011)

Ataskaitoje nurodoma, kad VGMS tikslinga diegti, kai siekiama išlaikyti TP greičio sumažėjimą ilgesniame ruože nei momentinio greičio matuoklio veikimo atkarpoje. Kitas sistemos diegimo kriterijus nurodo, kad VGMS įrengimui parinktuose kelių ruožuose užfiksuotas TP vidutinis greitis turėtų būti didesnis nei leistinas ir avaringumas didesnis 30 % nei kituose homogeniniuose kelių ruožuose. Taip pat pateikiami 4 papildomi kriterijai, apibūdinantys kelių ruožų tinkamumą VGMS įrengimui:

1. sistemą tikslinga diegti kelių ruožuose nuo 2 km iki 10 km;
2. visame matuojamame kelio ruože turi būti vienodas leistinas greitis;
3. matuojamo kelio ruožo geometrija (horizontalios ir vertikalios kreivės) turi atitikti leistiną greitį (kad ties kreivėmis nebūtų greičio ribojimo);
4. matuojamame kelio ruože neturi būti sankryžų ar išvažiavimų, kurių vidutinis metinis paros eismo intensyvumas (VMPEI) didesnis kaip 250 aut./parą.

Siekiant nustatyti VGMS veiksmingumą, trijuose Norvegijos kelių ruožuose (1.5 lentelė) atliktas eksperimentinis sistemos tyrimas. Tirtuose kelių ruožuose leistinas greitis 80 km/h.

E18 kelyje 5,150 km atstumu nuo VGMS veikimo pradžios fiksuotas momentinis (taškinis) TP greitis. Greičio duomenys buvo fiksuojami prieš ir po VGMS įdiegimo. Matavimai buvo atlikti tomis pačiomis darbo dienomis, kadangi matuo-

jamoje vietoje savaitgaliais didelis eismas intensyvumas – pasitaiko spūstys. Tyrimu nustatyta, kad po 10 sav. sistemos veikimo vidutinis greitis sumažėjo 2,7 km/h (nuo 76,7 km/h iki 74,0 km/h) bei 3,1 km/h (iki 73,6 km/h) po 25 sav. E18 kelyje po sistemos įdiegimo viršijančiųjų leistiną greitį sumažėjo nuo 36,8 % iki 23,0 %. Daugiau kaip 10 km/h leistiną greitį viršijančiųjų sumažėjo nuo 4,1 % iki 1,4 %.

**1.5 lentelė.** Vidutinio greičio tyrimui parinktų kelių ruožų duomenys (Norwegian Public Roads Administration 2011)

**Table 1.5.** Road sections data selected for average speed survey (Norwegian Public Roads Administration 2011)

Kelio Nr.	Vietos pavadinimas	Kelio ruožo ilgis, km	Paros eismo intensyvumas, TP/parą	Įrengimo data
E18	Bakkevaan	8,600	6500	2009-06
E6	Dovreskogen	5,059	3425	2009-07
RV3	Langodden	9,530	2125	2010-05

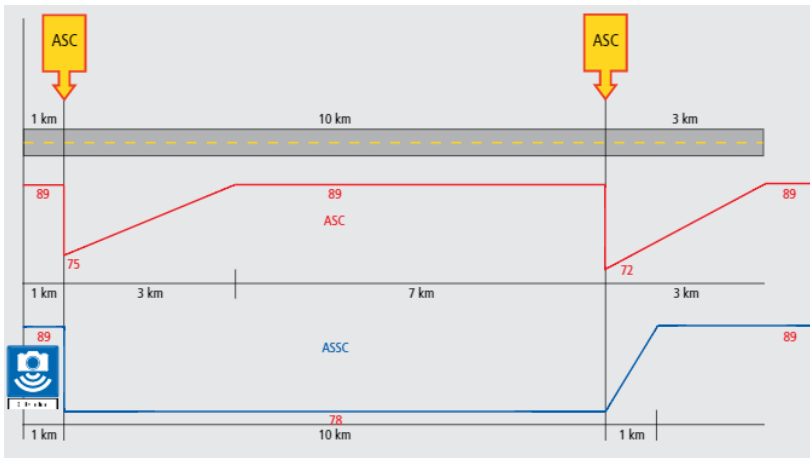
E6 kelyje apie 3,7 km atstumu nuo VGMS veikimo pradžios fiksuotas momentinis (taškinis) TP greitis. Greičio duomenys buvo fiksuojami prieš ir po VGMS įdiegimo. Tyrimu nustatyta, kad po sistemos įdiegimo vidutinis greitis sumažėjo 8,8 km/h (nuo 89,4 % iki 80,6 %). E6 kelyje po sistemos įdiegimo viršijančiųjų leistiną greitį sumažėjo nuo 90,5 % iki 52,7 %. Daugiau kaip 10 km/h leistiną greitį viršijančiųjų sumažėjo nuo 42,3 % iki 9,4 %.

Skirtingai nuo VGMS veiksmingumo tyrimo keliuose E1 bei E6, kelyje RV3 buvo fiksuojamas ne momentinis (taškinis) greitis, o matuojamas vidutinis greitis visame kelio ruože. Greičio duomenys buvo fiksuojami prieš ir po VGMS įdiegimo. Tyrimu nustatyta, kad po sistemos įdiegimo vidutinis TP greitis kelio ruože sumažėjo 10,2 km/h. Ryškiau TP greitis sumažėjo ties VGMS pradžia – 14,1 km/h. O ties sistemos veikimo pabaiga TP greitis sumažėjo 18,0 km/h.

Eksperimentiniu tyrimu nustatyta, kad VGMS poveikis TP greičio sumažėjimui priklauso nuo TP greičio prieš sistemos įdiegimą. Kuo didesnis greičio viršijimas prieš sistemos įdiegimą, tuo didesnis greičio sumažėjimas po sistemos įdiegimo. Norvegijos specialistai įvertinę rezultatus, nustatė, kad viduryje matuojamo ruožo TP greitis yra 2 % didesnis nei visos matavimo atkarpos vidutinis greitis. Didžiausias greičio sumažėjimas yra ties VGMS pabaiga.

Taip pat atlikti papildomi tyrimai TP greičio nustatymui už VGMS veikimo ribų. Nustatyta, kad išvažiuojant iš matuojamo kelio ruožo pasiektas TP greičio sumažėjimas išlaikomas mažiausiai iki 100 m (Norwegian Public Roads Administration 2011). 500 m atstumu už sistemos veikimo pabaigos fiksuojamas TP

greitis yra 15,9 % didesnis nei ties sistemos veikimo pabaiga. Norvegijos specialistų teigimu, VGMS turi įtakos TP greičio sumažėjimui mažiausiai 1 km atstumu už sistemos veikimo pabaigos. Taipogi išsirta, kad TP pradeda mažinti greitį likus 160 m iki VGMS veikimo pradžios.



**1.6 pav.** Greičio kitimas vidutinio greičio matavimo sistemos veikimo atkarpoje (Norwegian Public Roads Administration 2011)

**Fig. 1.6.** Speed profile in the operation section of average speed enforcement system (Norwegian Public Roads Administration 2011)

Norvegijos specialistai panaudoję Nilsson nustatytą priklausomybę tarp greičio ir avaringumo (Power model) bei eksperimentinio tyrimo rezultatus, apskaičiavo VGMS veiksmingumą. Specialistai remiantis ankstesniais tyrimų rezultatais priėmė, kad momentinio greičio matuoklio veikimo atkarpa yra iki 3 km (1.6 pav.). Įrengus VGMS jos poveikis yra visame matavimo ruože ir priimama, kad pasibaigus matavimo ruožui ji veikia iki 1 km. Apskaičiuota, jei 10 km atstumu būtų įdiegti du momentinio greičio matuokliai, įskaitinių eismo įvykių sumažėtų 9,7 %, o eismo įvykių su žuvusiais sumažėtų 15,6 % lyginant su padėtimi, kai nediegama jokia priemonė (Norwegian Public Roads Administration 2011). 10 km kelio ruože esant VGMS įskaitinių eismo įvykių sumažėtų 23,0 %, o eismo įvykių su žuvusiais sumažėtų 35,5 %.

Olandijoje įdiegtos VGMS kelių ruožuose, kuriuose leistinas greitis visame matuojamame ruože vienodas (Matka-aikaan perustuvan... 2010). Apie sistemos veikimą perspėjama informaciniais kelių ženklais. Olandijoje VGMS įrengiama kelių ruožuose, kurių ilgis nuo 0,5 km iki 5 km. Dažniausiai transporto priemonių vidutinis greitis kontroliuojamas maždaug 3,5 km ruože (Räsänen, 2008). Olandijoje sistema veikia ir su kintančiais greičio ribojimais. Kad vairuotojai spėtų

prisitaikyti prie pasikeitusių apribojimų, sistema pradeda kontroliuoti naują leistiną greitį po pereinamojo laikotarpio. Pirmą nuolatinę VGMS įrengta 2002 m. 3 km ilgio A13 automagistralės atkarpoje. Diegiant VGMS kartu sumažintas leistinas greitis nuo 100 km/h iki 80 km/h. Įdiegus sistemą leistiną greitį viršijo tik 0,5 % TP (Wegman, Goldenbeld 2006). Po VGMS įdiegimo eismo įvykių sumažėjo 47 %, o žuvusiųjų 25 % (Kuratorium fur Verkehrssicherheit 2007). Tačiau atkreiptinas dėmesys, kad neįvertinta, kiek avaringumo sumažėjimui turėjo įtakos kartu su sistemos įdiegimu sumažinta leistino greičio riba.

Austrijoje pirmą kartą VGMS įdiegta 2003 m. Vienoje įrengtame 2,3 km ilgio Kaisermuhleno tunelyje. Abiem TP srauto kryptims yra po 3–4 eismo juostas. Eismo intensyvumas didesnis nei 90 000 TP/parą, iš jų krovininis transportas sudaro 10 %. Leistinas greitis 80 km/h. Krovininiam transportui greitis ribojamas iki 60 km/h (Stefan 2006). Kaisermuhleno tunelyje įdiegus VGMS lengvųjų TP vidutinis greitis šviesiu paros metu sumažėjo nuo 85 km/h iki 75 km/h, tamsiu paros metu – nuo 95 km/h iki 75 km/h. Krovininio transporto vidutinis greitis šviesiu paros metu sumažėjo nuo 70 km/h iki 55 km/h, tamsiu paros metu – nuo 75 km/h iki 55 km/h. Įvertinus 4 m. prieš ir 1 m. po sistemos įdiegimo avaringumo duomenis, atsižvelgus į TP srauto pokytį bei bendrą eismo įvykių kitimo tendenciją, nustatyta, kad įskaitinių eismo įvykių sumažėjo 33,3 %, žuvusiųjų ir sunkiai sužeistųjų – 48,8 %, lengvai sužeistųjų – 32,2 % (Stefan 2006).

Montella *et al.* (2012) patikimai įvertino VGMS veiksmingumą. Vertinimui panaudoti tyrimo duomenys iš automagistralės A1 Milan–Neapolis, kurioje leistinas greitis yra 130 km/h. TP greičio duomenys tirti prieš–po (*before–after*) metodu panaudojant empirinį Bajeso metodą. Nustatyta, kad sistemos įdiegimas turi statistiškai reikšmingą įtaką avaringumo sumažėjimui. Po VGMS įdiegimo įskaitinių eismo įvykių sumažėjo 31,2 % (priemonės poveikio koeficientas 0,69). Nustatyta, kad sistemos įdiegimas turi didelę reikšmę eismo įvykių su žuvusiais ir sunkiai sužeistais sumažėjimui – po sistemos įdiegimo jų sumažėjo 55,6 % (priemonės poveikio koeficientas 0,44). Taip pat sistemos įdiegimas turi reikšmingą įtaką eismo įvykių sumažėjimui kreivių ribose – po sistemos įdiegimo nustatytas 43,3 % sumažėjimas (priemonės poveikio koeficientas 0,57). Tačiau tyrimu nustatyta, kad sistemos veiksmingumas laikui bėgant mažėja.

Soole *et al.* (2013) išanalizavo skirtingų šalių atliktų VGMS veiksmingumo įvertinimų rezultatus. Mokslininkų teigimu, sistema yra gana nauja eismo saugumo priemonė, todėl yra mažai tyrimų, kuriais įvertintas priemonės poveikis TP greičiui bei avaringumui. Soole *et al.* apibendrinę kitų šalių tyrimų rezultatus teigia, kad VGMS turi įtakos sumažėjimui vidutiniam TP greičiui bei faktiniam greičiui pagal 85-ojo procentilio reikšmę. Taip pat nustatyta, kad sistema turi didelę reikšmę leistiną greitį viršijančiųjų sumažėjimui – dėl sistemos įdiegimo jų sumažėja iki 90 %. Po VGMS įdiegimo leistiną greitį viršija tik iki 1 % vairuotojų. Todėl veikiant VGMS sumažėja greičio skirtumas tarp TP. Mokslininkų teigimu,

daugumai TP važiuojant greičiu, artimu leistinam, sumažėja kelionės laikas. Ypač tingai transporto laiko sąnaudos sumažėja piko metu. Taip pat apibendrinus tyrimų rezultatus mokslininkai teigia, kad VGMS turi didelę įtaką sumažėjimui eismo įvykių su žuvusiais ir sunkiai sužeistais. Jungtinėje Karalystėje atliktų tyrimų rezultatai rodo tokių eismo įvykių sumažėjimą nuo 35 % iki 85 %. Skirtingų šalių atliktos vairuotojų apklausos rodo, kad dauguma vairuotojų VGMS diegimą vertina teigiamai. Mokslininkai apibendrinami skirtingų šalių tyrimų rezultatus teigia, kad įrodyta, jog VGMS turi įtakos TP greičio ir avaringumo sumažinimui šalia greitį matuojamos atkarpos, tačiau nėra ištirta sistemos įtaka bendram kelių tinklui. Soole *et al.* rekomenduoja sistemą diegti avaringuose kelių ruožuose arba kai nėra užtikrinamas eismo saugumas dėl greičio viršijimo.

De Pauw *et al.* (2014c) nustatė VGMS poveikį TP greičiui. Sistema įdiegta abejomis TP srauto kryptimis Belgijos automagistralės E40 7,4 km ilgio atkarpoje, kurioje leistinas greitis 120 km/h. Greičio duomenys fiksuoti prieš-po sistemos įdiegimo skirtinguose taškuose: VGMS atkarpoje bei po kelis taškus prieš ir už sistemos matuojamo ruožo. Siekiant įvertinti TP greičio kitimą laike greičio duomenys fiksuoti palyginamosiose (kontrolinėse) kelio atkarpose. Panaudojus tiesinį regresijos modelį su normaliuoju skirstiniu ir ryšio funkcija (linear regression model with normal distribution and identity link function) nustatyta sistemos įtaką vidutinio greičio sumažėjimui. Panaudojus logistinį regresijos modelį su Bernoulli skirstiniu ir logito ryšio funkcija (logistic regression model with binomial distribution and logit link function) nustatyta sistemos įtaka leistino greičio viršijimų sumažėjimui. Dėl VGMS įdiegimo matuojamose atkarpose nustatytas sumažėjimas 5,84 km/h vidutinio greičio, 74 % leistiną greitį viršijančiųjų bei 86 % daugiau kaip 10 % leistiną greitį viršijančiųjų. Taip pat po VGMS įdiegimo TP važiuoja vienodesniu greičiu. Nustatyta, kad VGMS turi poveikį greičio sumažėjimui iki 6 km prieš ir už matuojamos atkarpos.

Høye (2014) atliko VGMS poveikio eismo įvykiams keturių mokslinių tyrimų rezultatų metaanalizę. Visi keturi tyrimai buvo atlikti prieš-po (*before-after*) metodu, atsižvelgiant į bendrą eismo įvykių kitimą. Høye nustatė, kad VGMS turi statistiškai reikšmingą įtaką įskaitinių eismo įvykių sumažėjimui – po sistemos įdiegimo eismo įvykių sumažėja 30 % (pasikliautinis intervalas –36; –24). Panaudojus Cochran  $Q$  kriterijų (Cochran's  $Q$ -test) nenustatytas rezultatų heterogeniškumas ( $Q = 3,09$ ;  $df = 3$ ;  $p < 0.378$ ). Po sistemos įdiegimo eismo įvykių su žuvusiais ir sunkiai sužeistais sumažėjo 56 % (pasikliautinis intervalas –66; –42). Mokslininkas padarė išvadą, kad VGMS turi didesnę poveikį eismo įvykiams su sunkiomis pasekmėmis.

Montella *et al.* (2015a) įvertino VGMS ir leistino greičio ribos pakeitimo poveikį TP greičiui. VGMS tyrimas atliktas pietinės Italijos automagistralėje A56, kuri nutiesta aplink Neapolį ir užmiesčio automagistralėje A3. A56 VGMS įdiegta

kelio ruožuose, kurių ilgis nuo 1,5 km iki 5,6 km. Prieš sistemos įdiegimą automagistralėje dėl geometrinių parametrų buvo skirtingi greičio apribojimai. Mokslininkai teigia, kad VGMS būtų veiksminga, visame matuojamame kelio ruože leistinas greitis turi būti pastovus. Todėl užfiksavus faktinį TP greitį bei atsižvelgiant į esamus geometrinius parametrus nustatčius projektinį greitį automagistralės kelio ruožuose lengvosios TP parinktas leistinas greitis 80 km/h, krovininiam transportui – 70 km/h. Automagistralėje A3 VGMS įdiegta kelio ruožuose, kurių ilgis 4,5 km ir 8,2 km. Dviejuose kelio ruožuose lengvosios TP parinktas leistinas greitis 100 km/h, krovininiam transportui – 80 km/h, kituose dviejuose ruožuose lengvosios TP – 80 km/h, krovininiam transportui – 70 km/h. Prieš po sistemos įdiegimo užfiksuotų greičio duomenų skirtumas įvertintas panaudojus Levene kriterijų (Levene's test). Taip pat panaudojus Z kriterijų (Z-test) patikrintas po sistemos įdiegimo greitį viršijančių procento pokytis ir jo pastovumas laike. Po leistino greičio pakeitimo ir VGMS įdiegimo automagistralėje A56 nustatytas statistiškai reikšmingas sistemos veiksmingumas. Vidutinis lengvųjų TP greitis sumažėjo 10 % (nuo 83,4 km/h iki 75,2 km/h), krovininio – 5 %. Taip pat užfiksuotas faktinio greičio pagal 85-ojo procentilio reikšmę sumažėjimas: 14 % (nuo 100 km/h iki 85,8 km/h) lengvųjų TP ir 8 % krovininio transporto. Sistemos įdiegimas reikšmingai sumažino ir standartinį nuokrypį bei leistiną greitį viršijančių procentą. Daugiau kaip 10 km/h leistiną greitį viršijančių lengvųjų TP sumažėjo 72 %, o daugiau kaip 20 km/h – 84 %. Šviesiu paros metu nustatytas didesnis leistiną greitį viršijančiųjų sumažėjimas nei tamsiu paros metu. Daugiau kaip 20 km/h leistiną greitį viršijančio krovininio transporto sumažėjo 77 %. Automagistralėje A3 įdiegtos VGMS poveikis TP greičiui yra mažesnis nei A56. A3 kelio ruožuose, kuriuose lengvosios TP leistinas greitis 100 km/h, o krovininiam transportui – 80 km/h, po sistemos įdiegimo atitinkamai užfiksuotas vidutinis greitis 98 km/h ir 87 km/h. Nustatytas faktinis greitis pagal 85-ojo procentilio reikšmę lengvųjų TP 112 km/h, krovininio transporto 99 km/h. Užfiksuota leistiną greitį viršijančių lengvųjų TP 44 %, krovininio transporto 72 %. Daugiau kaip 20 km/h leistiną greitį viršijančiųjų nustatyta mažiau: 5 % lengvųjų TP ir 11 % krovininių. A3 kelio ruožuose, kuriuose lengvosios TP leistinas greitis 80 km/h, o krovininiam transportui – 70 km/h, atitinkamai užfiksuotas vidutinis greitis 85 km/h ir 74 km/h. Leistiną greitį viršijo 66 % tiek lengvųjų, tiek krovininių TP. Nustatyta, kad automagistralėje A3 užfiksuoti greičio duomenys yra statistiškai reikšmingi. Vertinant greičio duomenis užfiksuotus skirtingais laikotarpiais po VGMS įdiegimo nustatyta, kad sistemos veiksmingumas laikui bėgant mažėja. Montella *et al.* teigia, kad šis reiškinys gali būti susijęs su netinkamu baudų išieškojimo procesu. Apklausos metu, tiesiogiai bendraujant su vairuotojais (*Face-to-face*) užfiksuota 25 % vairuotojų automagistralėje A3 ir 22 % – A56, kurie nežino, jog matuojamas vidutinis, o ne momentinis (taškinis) greitis. Mokslininkai apibendrinami rezultatus teigia, kad priemonės veiksmingumui svarbią reikšmę turi visuomenės švietimas.

## 1.4. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Mokslinių tyrimų rezultatų analizė rodo, kad greitis yra pagrindinis eismo saugumą bloginantis veiksnys, didinantis eismo įvykių susidarymo tikimybę bei nulemiantis skaudžias eismo įvykių pasekmes. Greičio pasirinkimui turi įtakos vairuotojo asmeninės savybės, leistino greičio riba, greičio kontrolė, TP technologijos, kelio infrastruktūra, švietėjiška veikla ir kiti veiksniai.
2. Gerosios patirties analizė rodo, kad greičio viršijimas veiksmingai sprendžiamas įrengiant „miesto vartus“, iškilias greičio reguliavimo priemonės, momentinio greičio matuoklius. Tačiau šių priemonių veikimo atkarpa yra ribota.
3. Užsienio šalių patirtis rodo, kad ilgesniuose kelio ruožuose yra veiksminga vidutinio greičio matavimo sistema. Tačiau net ir šalyse, kuriose plačiai taikomos vidutinio greičio matavimo sistemos, neturi šių sistemų veiksmingumo eismo saugumui įvertinimo modelio.

Mokslinės literatūros analizės pagrindu formuluojamas disertacijos tikslas bei uždaviniai.

Tikslas – didinti eismo saugumą sudarant vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui įvertinimo modelį, apimančią inžinerinių priemonių poveikį, ir pasiūlant ekonomiškai pagrįstą strategiją Lietuvos magistraliniams keliams.

Uždaviniai:

1. Nustatyti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veikimo atkarpų ilgius.
2. Susisteminti ir apibūdinti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių taikymo sąlygas.
3. Sudaryti vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumą eismo saugumui įvertinimo modelį.
4. Taikant daugiakriterinius sprendimo priėmimo metodus nustatyti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių reikšmingumą avaringumo sumažėjimui ir sudaryti priemonių prioritetinę eilę.
5. Eksperimentais nustatyti transporto priemonių vidutinio greičio viršijimo priklausomybę nuo leistino greičio ir jo apribojimų skaičiaus bei vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumą eismo saugumui.
6. Sudaryti vidutinio greičio matavimo sistemos Lietuvos automobilių keliuose įgyvendinimo variantus ir atlikti jų ekonominį vertinimą.



---

## Vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui įvertinimo modelis

Skyriaus tematika paskelbti 5 moksliniai straipsniai (Čygaitė *et al.* 2011; Čygaitė *et al.* 2013; Čygaitė *et al.* 2014; Jasiūnienė, Jateikienė 2015; Vaitkus *et al.* 2016).

### 2.1. Inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių poveikio eismo saugumui teoriniai įverčiai

Lietuvos keliai, atsižvelgiant į transporto priemonių eismo pralaidumą, socialinę ir ekonominę jų reikšmę, skirstomi į valstybinės reikšmės ir vietinės reikšmės kelius.

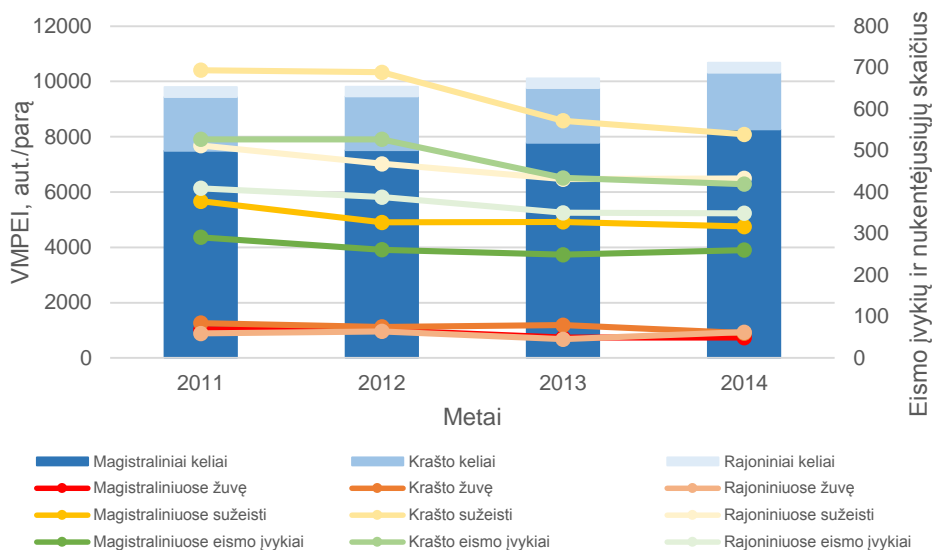
Valstybinės reikšmės keliai, kuriais vyksta tarptautinis, tranzitinis, turistinis ir vietinis intensyvus transporto priemonių eismas, skirstomi į (Lietuvos Respublikos... 1995):

- magistralinius kelius. Tai pagrindiniai Lietuvos keliai ir jų tęsiniai – gatvių važiuojamoji dalis, kuriais vyksta intensyviausias transporto priemonių eismas. Jiems priskiriami ir visi į Europos tarptautinį kelių tinklą įtraukiami valstybinės reikšmės keliai;

- krašto kelius. Jie sudaro pagrindinio kelių tinklo dalį. Tai keliai ir jų tęsiniai – gatvių važiuojamoji dalis, kuriais vyksta intensyvus transporto priemonių eismas tarp Lietuvos Respublikos teritorijos administracinių vienetų centrų, taip pat tranzitinio ir turistinio transporto priemonių eismas;
- rajoninius kelius. Tai keliai, naudojami Lietuvos Respublikos teritorijos administracinių vienetų teritorijose esančių juridinių ar fizinių asmenų susisiekimo reikmėms ir jungiantys miestų ir kaimų gyvenamąsias vietas su pagrindinių kelių tinklu.

Valstybinės reikšmės kelių tinklą sudaro 21 299,165 km, iš jų (Lietuvos Respublikos ... 1999):

- 21 magistralinis kelias, kurių ilgis 1752,132 km;
- 132 krašto keliai, kurių ilgis 4929,787 km;
- 1632 rajoniniai keliai, kurių ilgis 14 617,246 km.



**2.1 pav.** Eismo intensyvumo bei avaringumo kitimas valstybinės reikšmės keliuose pagal kelių paskirtį 2011–2014 m.

**Fig. 2.1.** Change in the traffic volume and the number of accidents on the roads of national significance by the road function 2011–2014 m.

2014 m. vidutinis metinis paros eismo intensyvumas valstybinės reikšmės keliuose sudarė 1399 aut./parą (LAKD 2015). Lyginant su 2013 m., eismo intensyvumas padidėjo 5 %. Didžiausias transporto priemonių eismas yra magistraliniuose

keliuose (2.1 pav.), kuris 2014 m. sudarė 77,4 % viso eismo intensyvumo valstybinės reikšmės keliuose. Daugiausiai eismo įvykių įvyksta krašto keliuose (2.1 pav.). 2014 m. juose įvyko 419 įskaitinių eismo įvykių (2.1 lentelė). Tačiau eismo įvykių, žuvusiųjų bei sužeistųjų skaičius, tenkantis 1-am kelio kilometrui, rodo, kad 2014 m. avaringiausi keliai buvo magistraliniai (2.1 lentelė). Eismo įvykių analizė pagal eismo įvykių rūšis rodo, kad 2014 m. magistraliniuose ir krašto keliuose vyrauja susidūrimai – atitinkamai 51,92 % ir 35,08 %. Rajoniniuose keliuose didžiąją eismo įvykių dalį sudaro apvirtimai – 31,52 %. Stacionarių greičio matavimo prietaisų poreikio analizėje (2007) nustatytas ryšys tarp eismo įvykių kortelėse nurodomų eismo įvykių priežasčių ir eismo įvykių rūšių. Kai eismo įvykio priežastis eismo įvykių kortelėje nurodoma saugaus greičio viršijimas, eismo įvykio rūšis apie 70 % yra transporto priemonių susidūrimai ir apvirtimai.

**2.1 lentelė.** Valstybinės reikšmės kelių avaringumo rodikliai 2011–2014 m. (LAKD 2012; LAKD 2013; LAKD 2014; LAKD 2015)

**Table 2.1.** Accident indices on the roads of national significance (LAKD 2012; LAKD 2013; LAKD 2014; LAKD 2015)

Metai	Kelių ilgis, km	Eismo įvykiai	Eismo įvykių sk./km	Žuvo	Žuvusiųjų sk./km	Žuvo 100 eismo įvykių	Sužeista	Sužeistųjų sk./km	Sužeista 100 eismo įvykių
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2011	Magistraliniai keliai								
	1738,248	291	0,17	69	0,04	23,7	378	0,22	129,9
	Krašto keliai								
	4937,469	527	0,11	84	0,02	15,9	694	0,14	131,7
	Rajoniniai keliai								
	14 591,184	409	0,03	59	0,004	14,4	512	0,04	125,2
2012	Magistraliniai keliai								
	1746,184	261	0,15	67	0,04	25,7	327	0,19	125,3
	Krašto keliai								
	4937,469	527	0,11	75	0,02	14,2	689	0,14	130,7
	Rajoniniai keliai								
	14 591,184	388	0,03	64	0,004	16,5	468	0,03	120,6

2.1 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2013	Magistraliniai keliai								
	1746,816	249	0,14	49	0,03	19,7	328	0,19	131,7
	Krašto keliai								
	4931,594	434	0,09	79	0,02	18,2	572	0,12	131,8
	Rajoniniai keliai								
	14 602,996	350	0,02	45	0,003	12,9	431	0,03	123,1
2014	Magistraliniai keliai								
	1883,124	260	0,14	49	0,03	18,8	317	0,17	121,9
	Krašto keliai								
	5057,221	419	0,08	60	0,01	14,3	539	0,11	128,6
	Rajoniniai keliai								
	14 700,324	349	0,02	62	0,004	17,8	433	0,03	124,1

2014 m. viršijusių leistiną greitį magistraliniuose keliuose buvo 43,29 % vairuotojų, krašto keliuose – 51,89 %, rajoniniuose keliuose – 31,99 % (Eismo intensyvumo... 2015). Lyginant su 2013 m. greičio pažeidėjų padidėjo magistraliniuose keliuose 1,64 %, krašto keliuose – 2,92 %, rajoniniuose keliuose – 2,65 %. 2014 m. leistiną greitį daugiau nei 10 km/h magistraliniuose keliuose viršijo 18 % vairuotojų, krašto keliuose – 28 %, rajoniniuose keliuose – 15 %.

Lietuvos kelių policijos tarnybos duomenimis (2015a) greičio viršijimo atvejai sudarė 38 % (146 411 atvejai) visų 2014 m. išaiškintų Kelių eismo taisyklių pažeidimų. Policijos pareigūnai prevencinių priemonių vykdymo metu nustatė, kad dažniausiai leistinas greitis Lietuvos keliuose viršijamas nuo 21 iki 30 km/h (2.2 lentelė). Šis greičio viršijimo dydis sudarė 42 % visų greičio viršijimo atvejų (2.2 pav.).

**2.2 lentelė.** 2014 m. prevencinių priemonių vykdymo metu užfiksuoti greičio viršijimo kiekiai (Lietuvos kelių... 2015b)

**Table 2.2.** Recorded speeding quantities during the performance of preventive measures in 2014 (Lietuvos kelių... 2015b)

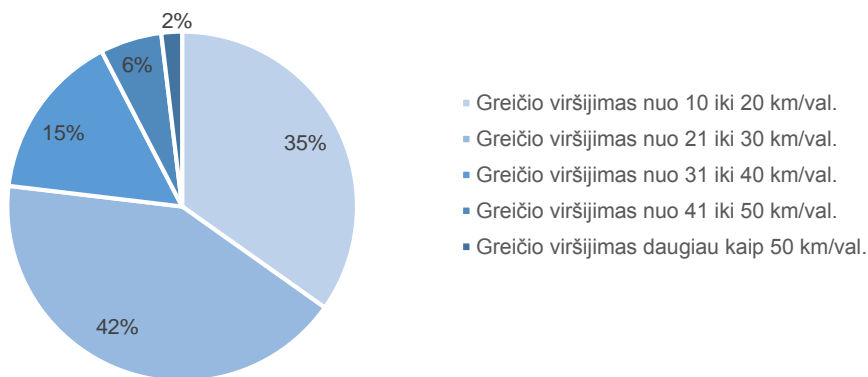
Laikas	Greičio viršijimo dydis	Kiekis	
		vnt.	%
1	2	3	4
balandžio 1–6 d.	Greičio viršijimas nuo 10 iki 20 km/val.	702	32,88

2.2 lentelės tęsinys

1	2	3	4
	Greičio viršijimas nuo 21 iki 30 km/val.	957	44,82
	Greičio viršijimas nuo 31 iki 40 km/val.	323	15,13
	Greičio viršijimas nuo 41 iki 50 km/val.	115	5,39
	Greičio viršijimas daugiau kaip 50 km/val.	38	1,78
	<i>Iš viso</i>	<i>2 135</i>	<i>100</i>
gegužės 5–11 d.	Greičio viršijimas nuo 10 iki 20 km/val.	579	34,28
	Greičio viršijimas nuo 21 iki 30 km/val.	699	41,39
	Greičio viršijimas nuo 31 iki 40 km/val.	259	15,33
	Greičio viršijimas nuo 41 iki 50 km/val.	109	6,45
	Greičio viršijimas daugiau kaip 50 km/val.	43	2,55
	<i>Iš viso</i>	<i>1 689</i>	<i>100</i>
gegužės 23–25 d.	Greičio viršijimas nuo 10 iki 20 km/val.	265	37,54
	Greičio viršijimas nuo 21 iki 30 km/val.	305	43,20
	Greičio viršijimas nuo 31 iki 40 km/val.	102	14,45
	Greičio viršijimas nuo 41 iki 50 km/val.	29	4,11
	Greičio viršijimas daugiau kaip 50 km/val.	5	0,71
	<i>Iš viso</i>	<i>706</i>	<i>100</i>
birželio 9–15 d.	Greičio viršijimas nuo 10 iki 20 km/val.	667	44,23
	Greičio viršijimas nuo 21 iki 30 km/val.	565	37,47
	Greičio viršijimas nuo 31 iki 40 km/val.	175	11,60
	Greičio viršijimas nuo 41 iki 50 km/val.	76	5,04
	Greičio viršijimas daugiau kaip 50 km/val.	25	1,66
	<i>Iš viso</i>	<i>1 508</i>	<i>100</i>
rugsėjo 22–28 d.	Greičio viršijimas nuo 10 iki 20 km/val.	371	28,92
	Greičio viršijimas nuo 21 iki 30 km/val.	521	40,61
	Greičio viršijimas nuo 31 iki 40 km/val.	272	21,20
	Greičio viršijimas nuo 41 iki 50 km/val.	91	7,09
	Greičio viršijimas daugiau kaip 50 km/val.	28	2,18
	<i>Iš viso</i>	<i>1 283</i>	<i>100</i>

2.2 lentelės pabaiga

1	2	3	4
spalio 27 d. – lapkričio 2 d.	Greičio viršijimas nuo 10 iki 20 km/val.	281	30,91
	Greičio viršijimas nuo 21 iki 30 km/val.	416	45,76
	Greičio viršijimas nuo 31 iki 40 km/val.	144	15,84
	Greičio viršijimas nuo 41 iki 50 km/val.	49	5,39
	Greičio viršijimas daugiau kaip 50 km/val.	19	2,09
	<i>Iš viso</i>	<i>909</i>	<i>100</i>



**2.2 pav.** 2014 m. prevencinių priemonių vykdymo metu užfiksuoto greičio viršijimo pasiskirstymas (Lietuvos kelių... 2015b)

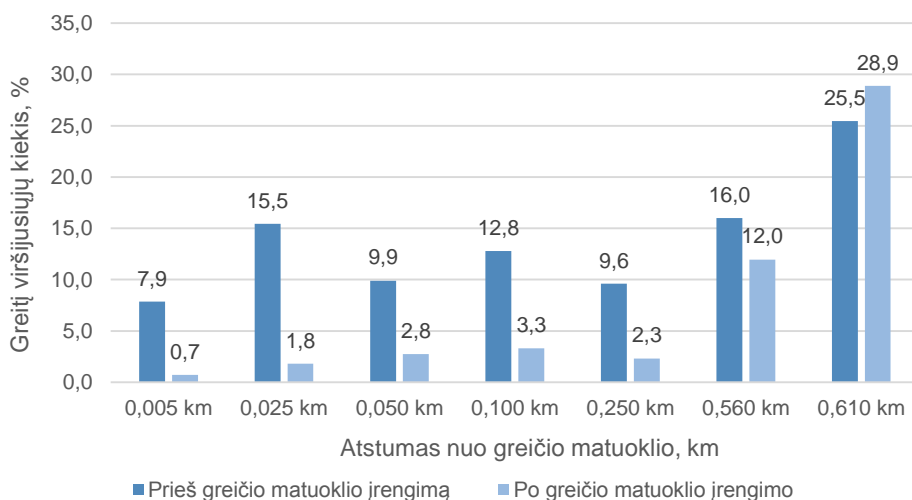
**Fig. 2.2.** Distribution of speeding recorded during the execution of preventive measures in 2014 (Lietuvos kelių... 2015b)

2015 m. valstybinės reikšmės keliuose nustatytos 37 „juodosios dėmės“: magistraliniuose keliuose – 18 „juodųjų dėmių“, krašto keliuose – 17 „juodųjų dėmių“, rajoniniuose keliuose – 2 „juodosios dėmės“ (LAKD 2015). Per 2011–2014 m. laikotarpį „juodosiose dėmėse“ įvyko 197 įskaitiniai eismo įvykiai, kurių metu 20 žmonių žuvo ir 260 buvo sužeista. 2011–2014 m. laikotarpiu 34 „juodųjų dėmių“ ruožuose buvo fiksuojamas transporto priemonių greitis. Išanalizavus greičių duomenis nustatyta, kad 13 „juodųjų dėmių“ (7 „juodosios dėmės“ magistraliniuose keliuose, 6 – krašto keliuose) užfiksuota virš 50 % leistiną greitį viršijančių vairuotojų. Mažiausiai leistinas greitis buvo viršijamas krašto kelio Nr. 140 6,00–6,67 km esančioje „juodojoje dėmėje“ (greitį viršijo 5,3 % vairuotojų), daugiausiai greitis buvo viršijamas magistralinio kelio A9 55,97–57,46 km esančioje „juodojoje dėmėje“ (greitį viršijo 91,73 % vairuotojų).

Dažniausią Kelių eismo taisyklių pažeidimą – leistino greičio viršijimą – bandoma sumažinti Lietuvos keliuose diegiant inžinerines greičio reguliavimo ir kontrolės priemones. Jų poveikį eismo saugumui parodo veikimo atkarpa ir poveikio koeficientas.

### Veikimo atkarpos ilgis

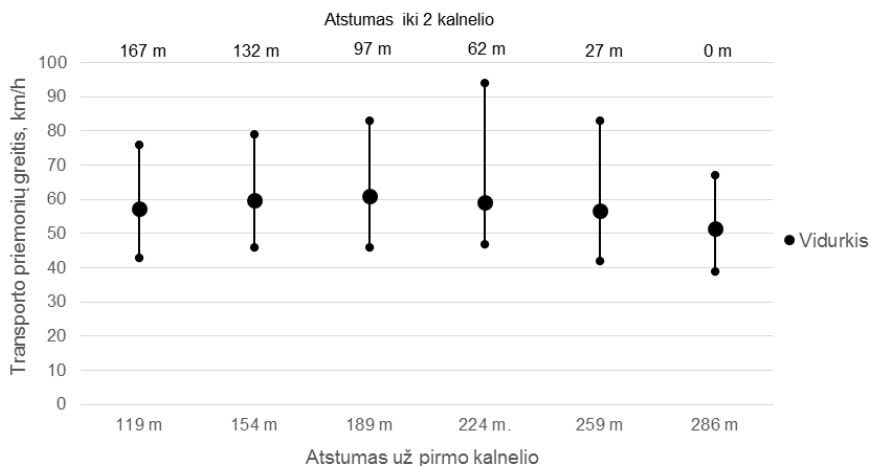
Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose įdiegtų momentinio greičio matuoklių veikimo atkarpa nustatyta vertinant 2006–2011 m. greičių duomenis iš stacionarių periodinių eismo intensyvumo apskaitos postų, ties kuriais leistinas greitis toks pat kaip ties greičio matuokliais. Analizuoti duomenys iš eismo intensyvumo apskaitos postų, kurie sutampa arba nutolę ne daugiau kaip 1 km nuo greičio matuoklio įrengimo vietos. Vertinimo kriterijus atitiko 7 vietas. Įvertinus viršijusiųjų leistiną greitį vairuotojų skaičių nustatyta, kad po greičio matuoklių įrengimo greičio viršytojų sumažėjo (2.3 pav.). Iš greičio duomenų analizės nustatyta, kad momentinio greičio matuoklių veikimo atkarpa yra iki 500 m nuo greičio matuoklio įrengimo vietos (Čygaitė *et al.* 2013).



**2.3 pav.** Momentinio greičio matuoklio įtaka daugiau kaip 10 km/h leistiną greitį viršijančių vairuotojų kiekiui

**Fig. 2.3.** Influence of instantaneous speed measuring device for the quantity of drivers who are speeding more than 10 km/h

Lietuvos keliuose įrengtų iškiliųjų greičio reguliavimo priemonių veikimo atkarpa nustatyta atlikus momentinio greičio tyrimą Didžiojoje Riešėje. Tyrimas atliktas vasarą (2015 m. liepos mėn.) darbo dieną šviesiu paros metu greičio matuokliu *Berkut R* slaptai fiksuojant greičius tarp dviejų trapezinių GRK. Momentinis greitis fiksuotas šešiuose taškuose (2.4 pav.): penkiuose taškuose tarp GRK (tarp kurių atstumas 286 m) bei imant vieną (šeštą) matavimo tašką ant antrojo kalnelio. Tyrimu nustatyta, kad apie 200 m atstumu už pirmojo kalnelio 50 km/h leistinas greitis viršijamas daugiau kaip 10 km/h (2.4 pav.). Nustatyta, kad 300 m atstumas tarp GRK yra per didelis, kad būtų užtikrintas 50 km/h greitis.

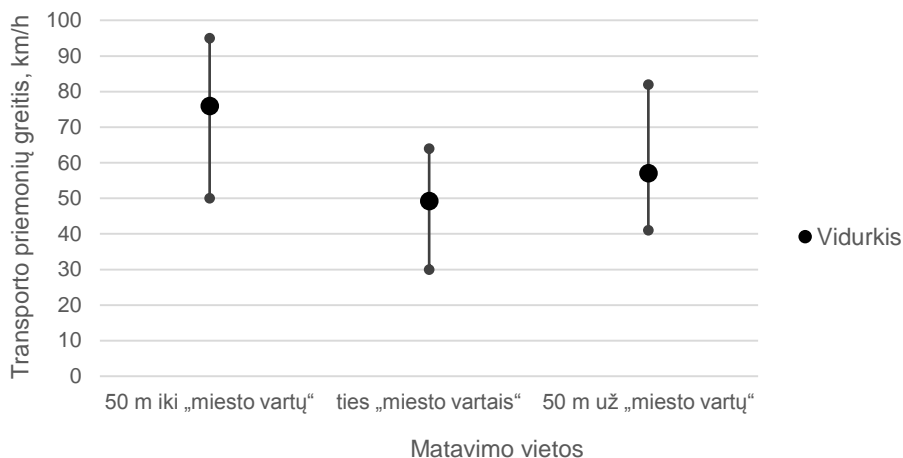


**2.4 pav.** Transporto priemonių greičio pokytis tarp dviejų greičio reguliavimo kalnelių

**Fig. 2.4.** Speed change of vehicles between two speed humps

Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose įrengtų kelių iškreivinančių elementų veikimo atkarpa nustatyta atlikus momentinio greičio tyrimą ties 50 m ilgio „miesto vartais“ Dūkštose. „Miesto vartai“ įrengti su 3,3 m pločio iškilia saugumo salele bei lanksčiais šviesą atspindinčiais stulpeliais, kurie važiuojamąją dalį iškreivina į gyvenvietę įvažiuojančiam srautui. Tyrimas atliktas vasarą (2015 m. liepos mėn.), darbo dieną, šviesiu paros metu greičio matuokliu *Berkut R*. Nustatyta, kad transporto priemonės pradeda mažinti greitį likus 50 m iki „miesto vartų“, o 50 m už „miesto vartų“ ribos dauguma transporto priemonių pradeda greitėti (2.5 pav.). Įvertinus tyrimo rezultatus nustatyta, kad „miesto vartų“ veikimo atkarpa 150 m.





**2.5 pav.** Transporto priemonių greičio pokytis ties „miesto vartais“

**Fig. 2.5.** Speed change of vehicles at the gateways

## Poveikio koeficientas

Eismo saugumą gerinančių priemonių veiksmingumas išreiškiamas jų poveikio koeficientais, kurie rodo prognozuojamų eismo įvykių skaičių po priemonės įdiegimo (FHWA 2010; AASHTO 2010; Garber, Hoel 2015). Eismo saugumą gerinančios priemonės poveikio koeficientas didesnis nei 1,0 rodo, kad po priemonės įdiegimo prognozuojamas eismo įvykių skaičiaus padidėjimas. Poveikio koeficientas mažesnis už 1,0 rodo, kad po priemonės įdiegimo prognozuojamas eismo įvykių skaičiaus sumažėjimas. Pavyzdžiui, poveikio koeficientas 0,8 rodo prognozuojamą eismo įvykių skaičiaus po priemonės įdiegimo 20 % sumažėjimą per metus, o poveikio koeficientas 1,2 – 20 % padidėjimą per metus (FHWA 2010).

Eismo saugumo vertinimui Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose sukurta kompiuterinė Kelių tinklo saugumo vertinimo programa Tarva LT bendradarbiaujant Vilniaus Gedimino technikos universiteto specialistams su Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos (LAKD), VŠĮ Kelių ir transporto tyrimo institutu, Suomijos techninių tyrimų centru VTT bei kompiuterinės įrangos kompanija *Simsoft Oy* (Jasiūnienė, Čygas 2013). Programoje yra Saugaus eismo priemonių su jų poveikių koeficientais sąrašas, kurį šiuo metu sudaro 8 eismo saugumą gerinančių priemonių grupės:

1. Pėsčiųjų ir dviratininkų eismui gerinti.
2. Kelio tobulinimas.
3. Kelio aplinkos tobulinimas.
4. Priemonės sankryžose.

5. Greičio reguliavimas.
6. Ženklių įrengimas, ženklinimas.
7. Apsauginės priemonės nuo gyvūnų.
8. Priemonės su geležinkeliu.

Tarva LT programoje taip pat yra pateikiami prognozuojamų eismo įvykių pasekmių pokyčiai įdiegus eismo saugumo gerinimo priemonę. Poveikio koeficientai bei pasekmių pokyčiai pateikiami trims eismo įvykių rūšių grupėms: 1. Eismo įvykiams su automobiliais. 2. Eismo įvykiams su pėsčiaisiais ir dviratininkais. 3. Eismo įvykiams su gyvūnais (2.3 lentelė). Pavyzdžiui, tam tikrame ruože įgyvendinama priemonė „Automatizuotos greičio kontrolės punkto įrengimas“. Šios eismo saugumą gerinančios priemonės poveikio koeficientas įskaitiniams eismo įvykiams su automobiliais yra 0,70, o eismo įvykių su automobiliais pasekmių pokytis yra 0,08. Tai reiškia, kad įgyvendinus priemonę prognozuojama, jog įskaitinių eismo įvykių skaičius sudarys 70 %, o tų eismo įvykių pasekmės – 64,4 % buvusio lygio ( $0,70 (1-0,08) = 0,644$ ) (Ratkevičiūtė 2009).

**2.3 lentelė.** Greičio reguliavimo priemonių grupės poveikio koeficientai (Tarva LT)

**Table 2.3.** Impact coefficient of speed limitation measures group (Tarva LT)

Priemonės pavadinimas	Poveikio koeficientai eismo įvykiams su:			Pasekmių pokytis eismo įvykiams su:		
	aut.	pėsč./ dvir.	gyvū- nais	aut.	pėsč./ dvir.	gyvū- nais
Momentinio greičio matuoklis	0,70	0,70	0,90	0,08	0,08	0,08
Apskritiminis greičio reguliavimo kalnelis	0,80	0,75	0,90	0,20	0,25	0,05
Trapecinis greičio reguliavimo kalnelis	0,85	0,80	0,90	0,05	0,10	0,00
Daliniai trapeciniai greičio reguliavimo kalneliai	0,90	0,90	0,90	0,05	0,10	0,00
„Miesto vartai“	0,85	0,85	1,00	0,00	0,00	0,00
Važiuojamosios dalies iškreivinimas	0,95	0,95	1,00	0,00	0,00	0,00
Važiuojamosios dalies susiaurinimas su saugumo salele	0,90	0,90	1,00	0,00	0,00	0,00

Tarva LT programoje nėra įvesto VGMS poveikio koeficiento, kadangi Lietuvoje šiuo metu sistema įdiegta tik viename kelio ruože ir veikia tik nuo 2015 m. liepos 19 d., o poveikio koeficiento nustatymui reikalinga didelė duomenų imtis.

Naudojant empirinį Bajeso metodą VGMS poveikio koeficientus eismo įvykiams bei eismo įvykiams su žuvusiais yra nustatę italų mokslininkai Montella *et al.* (2012). Nustatyti VGMS poveikio eismo saugumui koeficientai yra:

- eismo įvykiams – 0,69;
- eismo įvykiams su žuvusiais – 0,44.

Poveikio koeficientai apskaičiuoti (Montella *et al.* 2012):

$$\theta = \frac{\frac{\pi_{sum}}{\lambda_{sum}}}{1 + \frac{\sum Var(\lambda)}{\lambda_{sum}^2}}; \quad (2.1)$$

$$Var(\lambda) = R^2 \times \left[ \frac{\hat{E}(Y)_b}{k + \hat{E}(Y)_b} \right]^2 \times (k + count_b); \quad (2.2)$$

$$\lambda = \left[ \frac{\hat{E}(Y)_a}{\hat{E}(Y)_b} \right] \times EB_b = R \times EB_b; \quad (2.3)$$

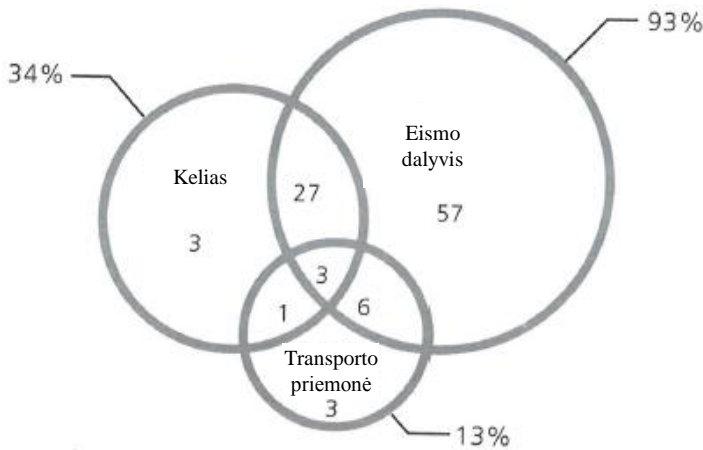
$$EB_b = \left( \frac{\hat{E}(Y)_b}{k + \hat{E}(Y)_b} \right) \times (k + count_b); \quad (2.4)$$

čia  $\theta$  – VGMS poveikio koeficientas;  $\pi_{sum}$  – užfiksuoti eismo įvykiai po VGMS įdiegimo kelių ruožuose, kuriuose įdiegta sistema;  $\lambda_{sum}$  – prognozuojami eismo įvykiai kelių ruožuose, jeigu juose nebūtų įdiegtos VGMS;  $Var(\lambda)$  – prognozuojamų eismo įvykių nuokrypis, jeigu nebūtų diegiama VGMS;  $k$  – neigiamas binominis parametras;  $count_b$  – užfiksuoti eismo įvykiai prieš VGMS įdiegimą;  $\hat{E}(Y)_b$  – prognozuojami eismo įvykiai prieš VGMS įdiegimą kontroliniuose kelių ruožuose;  $\hat{E}(Y)_a$  – prognozuojami eismo įvykiai po VGMS įdiegimo kontroliniuose kelių ruožuose.

## 2.2. Vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo įvertinimo teorinis modelis

Eismo įvykių tikimybė ir jų pasekmės priklauso nuo trijų pagrindinių priežasčių grupių: eismo dalyvio; kelio; transporto priemonės (2.7 pav.). Kai kuriais atvejais eismo įvykis gali įvykti dėl vienos priežasčių grupės. Tačiau dažnai eismo įvykis įvyksta dėl daugelio kartu veikiančių aplinkybių. Didžiausią įtaką eismo įvykio atsitikimui turi klaidos, kurias eismo dalyviai gali padaryti dėl jų psichologinės ir fiziologinės būsenos, klaidingos kelių infrastruktūros, netinkamo esamų aplinkos

sąlygų įvertinimo (Garber, Hoel 2015). Treat *et al.* (1979) nustatė, kad vien dėl eismo dalyvių kaltės įvyksta 57 % eismo įvykių (2.6 pav.). O eismo dalyvio, kelio ir transporto priemonės bendra sąveika sudaro 93 % įvykstančių eismo įvykių atvejų.



**2.6 pav.** Eismo įvykių priežasčių grupės (Treat *et al.* 1979)

**Fig. 2.6.** Contributing factors to vehicle crashes (Treat *et al.* 1979)

Hunter *et al.* (1996) nustatė valstybinės reikšmės keliuose įvykstančių eismo įvykių, kurių metu transporto priemonės partrenkia pėsčiuosius arba dviratininkus, pagrindines aplinkybes:

- santykinai didelis TP greitis;
- dviejų eismo juostų kelias;
- nakties metas;
- kelių ruožai ne sankryžų zonose;
- neženklinti, neasfaltuoti ir pan. kelkraščiai.

Apie 30 km/h (20 mph) greičiu važiuojančioms TP partrenkus pėsčiuosius, žūsta apie 5 % partrenktųjų (U. K. Department of Transportation 1987). Apie 64 km/h (40 mph) važiuojančioms TP partrenkus pėsčiuosius, žuvusiųjų skaičius išauga iki 85 %. Nilsson (2004b) pateikė priklausomybę tarp greičio pokyčio bei avaringumo pokyčio. Greičiui padidėjus 5 %, įskaitinių eismo įvykių padaugėja apie 10 %, o eismo įvykių su žuvusiais padaugėja apie 20 % (Transport Research Centre, 2006). Ir atvirkščiai – greičiui sumažėjus 5 %, įskaitinių eismo įvykių sumažėja apie 10 %, o eismo įvykių su žuvusiais sumažėja apie 20 %.

Daugelio mokslininkų (Nilsson 1982, 2004b; Elvik *et al.* 2004; Wegman, Aarts 2006; Elvik 2009) teigimu, greitis didina eismo įvykių atsiradimo tikimybę bei turi ypatingai didelę įtaką eismo įvykių pasekmėms. Kuo didesnis TP

greitis, tuo sudėtingiau TP vairuotojui ir pažeidžiamam eismo dalyviui nuspėti vienam kito veiksmus (Federal Highway Administration 2012). Dėl didelio TP greičio sumažėja laikas, kurio metu vairuotojas turi: pastebėti bei identifikuoti kliūtį; įvertinti atstumą iki kliūties ir jeigu kliūtis yra judanti, įvertinti jos greitį ir kitus galimus veiksmus; priimti sprendimą; atlikti veiksmą, kuris padėtų išvengti susidūrimo su kliūtimi arba sumažintų susidūrimo neigiamas pasekmes (Kallberg, Luoma 1996). Pasaulyje apie 50 % vairuotojų viršija leistiną greitį (Transport Research Centre, 2006). Lietuvoje kelių policijos tarnybos duomenimis (2015) taip pat dažniausias Kelių eismo taisyklių pažeidimas užfiksuojamas leistino greičio viršijimas. 2015 m. Lietuvoje atlikta visuomenės apklausa, taikant dvi apklausų rūšis – standartizuotą interviu ir anketavimą – parodė, kad daugiau negu pusę (55,6 % pirmos apklausos ir 51,0 % antros apklausos) respondentų leistino greičio viršijimą įvardija kaip dažniausiai pasitaikantį pažeidimą.

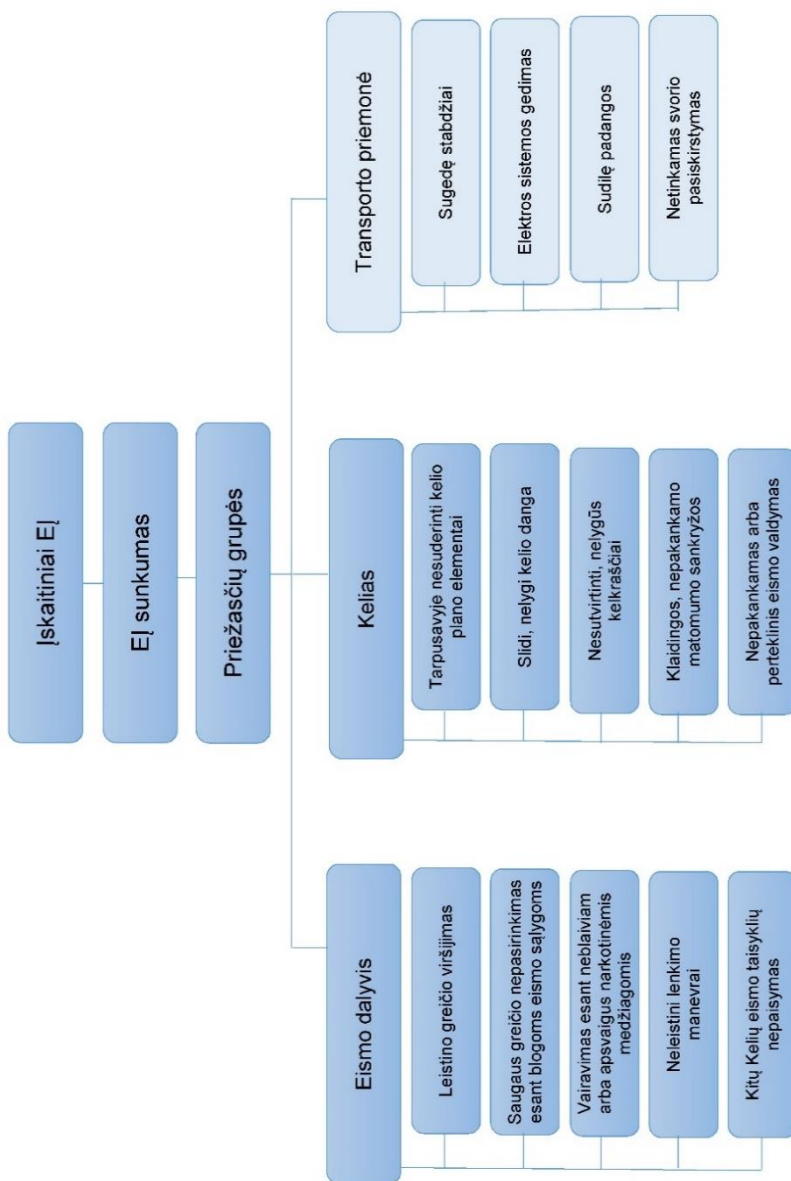
Autoriaus susistemintos pagrindinės įskaitinių eismo įvykių priežastys pateikiamos 2.7 paveikslu.

Kuriant saugią kelių infrastruktūrą svarbu atsižvelgti į ribotas žmogaus galimybes tuo pačiu metu suvokti didelį informacijos kiekį. Kai vienoje vietoje įrengiama per daug kelio ženklų, eismo dalyvis kreipia dėmesį į, jo nuomone, svarbiausią informaciją. Pasirinkimo metu tikėtina, kad eismo dalyvis pasirinks veiksmų seką įvertindamas ne svarbiausią informaciją, o pirmą užfiksuotą.

Dėl eismo dalyvių kaltės įvykstančių įskaitinių eismo įvykių pasekmes galima sumažinti sukuriant eismo dalyvių klaidas atleidžiančią kelių infrastruktūrą. Taip pat numatant eismo dalyvių klaidas konkrečiose vietose, galima sukurti kelių infrastruktūrą, kurios kelio elementai bei aplinka informuotų eismo dalyvius apie pavojingą vietą ir kai kuriais atvejais priverstų pasirinkti teisingus sprendimus.

Dažniausias Kelių eismo taisyklių pažeidimas ir eismo įvykių atsitikimui ir jų pasekmėms turintis didžiausią įtaką yra greičio viršijimas, kuris mažinamas trimis pagrindiniais būdais:

- inžinerinėmis greičio reguliavimo priemonėmis;
- greičio kontrolės priemonėmis (inžinerinėmis greičio kontrolės priemonėmis, žmogiškaisiais resursais – policijos pareigūnų darbu);
- švietėjiška veikla.



**2.7 pav.** Įskaitinių eismo įvykių priežasčių grupių pagrindiniai elementai

**Fig. 2.7.** Key elements of recorded accident causes groups

## Inžinerinės greičio reguliavimo priemonės

Inžinerinių greičio reguliavimo priemonių grupę sudaro: iškilios greičio reguliavimo priemonės; „miesto vartai“; važiuojamosios dalies susiaurinimas; žiedinės sankryžos.

*Iškili greičio reguliavimo priemonė* yra iškili inžinerinė priemonė, fiziškai priverčianti vairuotoją sumažinti TP greitį. Iškilios greičio reguliavimo priemonės skirstomos į 6 tipus:

- apskritiminis GRK;
- sinusoidinis GRK;
- trapecinis GRK;
- daliniai trapeciniai GRK;
- iškili pėsčiųjų perėja;
- iškili sankryža.

Inžinerinių saugaus eismo priemonių projektavimo ir naudojimo rekomendacijose (R ISEP 10) nurodoma, kad iškilios greičio reguliavimo priemonės turi būti įrengiamos grupėmis. Pavienės priemonės įrengiamos tik, kai reikia sumažinti greitį vienoje vietoje, pvz.: pėsčiųjų perėjoje, prieš sankryžą ir pan. Iškilų greičio reguliavimo priemonių įrengimas priklauso nuo teritorijos (gyvenvietė/užmiestis) ir leistino greičio.

Gyvenvietėse apskritiminiai GRK įrengiami vietose, kuriose mažas leistinas greitis: 20 km/h arba 30 km/h (R ISEP 10). Sinusoidiniai ir trapeciniai GRK įrengiami, kai leistinas greitis: 20 km/h, 30 km/h arba 50 km/h. Dalinius trapecinius GRK rekomenduojama įrengti esant intensyviai visuomeninio ir sunkiojo transporto eismui. Jie įrengiami vietose, kuriose leistinas greitis 30 km/h arba 50 km/h. Iškilias pėsčiųjų perėjas rekomenduojama įrengti, kai yra poreikis greitį sumažinti ties pėsčiųjų perėja. Iškilios sankryžos įrengiamos, kai leistinas greitis 30 km/h arba 50 km/h. Iškilios sankryžos nėra įrengiamos keliuose, kurių važiuojamosios dalies išilginis nuolydis didesnis nei 5 %. Taip pat R ISEP 10 nurodoma, kad magistralinių ir krašto kelių ruožuose, kurie yra gyvenvietėse, iškilios greičio reguliavimo priemonės yra taikomos tik kai tenkinamos visos papildomos sąlygos:

- nustatytas faktinis greitis pagal 85-ojo procentilio reikšmę ne mažiau kaip 8 km/h didesnis už leistiną;
- kelio ruožas, kuriame įrengiama iškili greičio reguliavimo priemonė, nėra horizontalioje ar vertikalioje kreivėje, netenkinančioje matomumo reikalavimo pagal kelių techninį reglamentą KTR 1.01:2008;
- vidutinis metinis paros eismo intensyvumas <2000 aut./parą, o vidutinis metinis sunkiojo transporto paros eismo intensyvumas <150 aut./parą;
- 30 m spinduliu aplink planuojamą iškilios greičio reguliavimo priemonės taikymo vietą nėra gyvenamųjų pastatų;

- dėl techninių kliūčių, aplinkinių žemės sklypų ir kitų priežasčių nėra galimybės įrengti horizontalių greičio reguliavimo priemonių, arba jei tokių priemonių taikymas nedavė laukiamo rezultato.

Užmiestyje esant 70 km/h greičio apribojimui gali būti įrengiami sinusoidiniai ir trapeciniai GRK bei iškilios sankryžos (R ISEP 10). Šios iškilios greičio reguliavimo priemonės gali būti taikomos rajoniniuose keliuose. Krašto keliuose gali būti taikomos tik išskirtiniais atvejais.

„*Miesto vartai*“, tai ties gyvenamosios teritorijos pradžia važiuojamosios dalies iškreivinimas su iškilia saugumo salele, informuojantis vairuotoją apie važiavimo režimo pasikeitimą ir fiziškai priverčiantis sumažinti TP greitį. R ISEP 10 nurodoma, kad „miesto vartai“ turi būti aiškiai matomi, išsiskirti iš aplinkos ir turi būti užtikrinamas sustojimo matomumas (ne mažiau kaip 150 m).

*Važiuojamosios dalies susiaurinimas* iš vienos kelio pusės, iš abiejų kelio pusių arba įrengiant skiriamąją saugumo salelę, kai TP vairuotojas fiziškai priverčiamas sumažinti greitį. Važiuojamoji dalis siaurinama gyvenvietėse, kai leistinas greitis 30 km/h arba 50 km/h (R ISEP 10). Važiuojamoji dalis siaurinama, kai reikia:

- sumažinti greitį;
- padidinti kelių pereinančių pėsčiųjų ir dviratininkų bei kitų eismo dalyvių eismo saugumą;
- apriboti tranzitinio transporto eismą.

Užmiestio keliuose skiriamosios saugumo salelės gali būti įrengiamos vietose, kuriose leistinas greitis yra ir 70 km/h, ir 90 km/h. Saugumo salelės užmiestio keliuose įrengiamos:

- atskirti priešpriešinio eismo srautus;
- sankryžų zonose užtikrinti saugų pėsčiųjų perėjimą per kelią;
- sumažinti leistiną greitį nuo 90 km/h iki 70 km/h;
- 70 km/h greičiui palaikyti (R ISEP 10).

*Žiedinė sankryža* yra kelių sankryža, kurioje eismas vyksta ratu. Į žiedinę sankryžą įvažiuojančios TP vairuotojas fiziškai priverčiamas sumažinti greitį. Žiedinės sankryžos skirstomos į 5 tipus:

- labai maža;
- mažoji;
- turbožiedinė;
- dviejų eismo juostų mažoji;
- didžioji.

Mažosios žiedinės sankryžos tiek užstatytose, tiek neužstatytose teritorijose yra rengiamos siekiant (MN ŽSP 12):

- pagerinti eismo saugumą sankryžose, kuriose eismo įvykiai dažniausiai įvyksta dėl leistino greičio viršijimo, nepakankamo matomumo, sankryžos sudėtingumo;



- išvengti sankryžų, kuriose pagrindinis kelias keičia kryptį;
- sankryžos ribose sumažinti didelius pagrindiniame kelyje važiuojančių transporto priemonių greičius. Įvažiavimuose į užstatytas teritorijas žiedinės sankryžos veikia kaip greičio mažinimo priemonės;
- padidinti pralaidumą, kai dėl esamo sankryžos tipo susidaro didelės transporto priemonių spūstys;
- išvengti šviesoforų įrengimo ir priežiūros išlaidų.

Užstatytose teritorijose mažosios žiedinės sankryžos neturėtų būti įrengiamos, kai:

- nepakankamas žiedinės sankryžos pralaidumas ir jį galima padidinti prietaikius kitą sankryžos tipą;
- esant ploto trūkumui negalima užtikrinti reikiamų matmenų ir formos žiedinės sankryžos.

Neužstatytose teritorijose mažosios žiedinės sankryžos neturėtų būti įrengiamos, kai (MN ŽSP 12):

- dėl skirtingos susikertančių kelių paskirties nėra tikslingas lygiavertis susikirtimas. Eismo intensyvumas mažesnio intensyvumo įvažose į tris šalę žiedinę sankryžą turi sudaryti mažiausiai 10 %, ketursalių sankryžų atveju – mažiausiai 15 % (abiejų mažesnio eismo intensyvumo įvažų eismo intensyvumų suma) bendro sankryžos eismo intensyvumo;
- yra aiškus vieno kelio kaip pagrindinio poreikis;
- dėl nelygaus reljefo nebūtų įmanoma įrengti reikiamo nuolydžio žiedinės važiuojamosios dalies arba būtų didelė žemės darbų apimtis. Žiedinės sankryžos su didesniu nei 6 % važiuojamosios dalies nuolydžiu paprastai neįrengiamos.

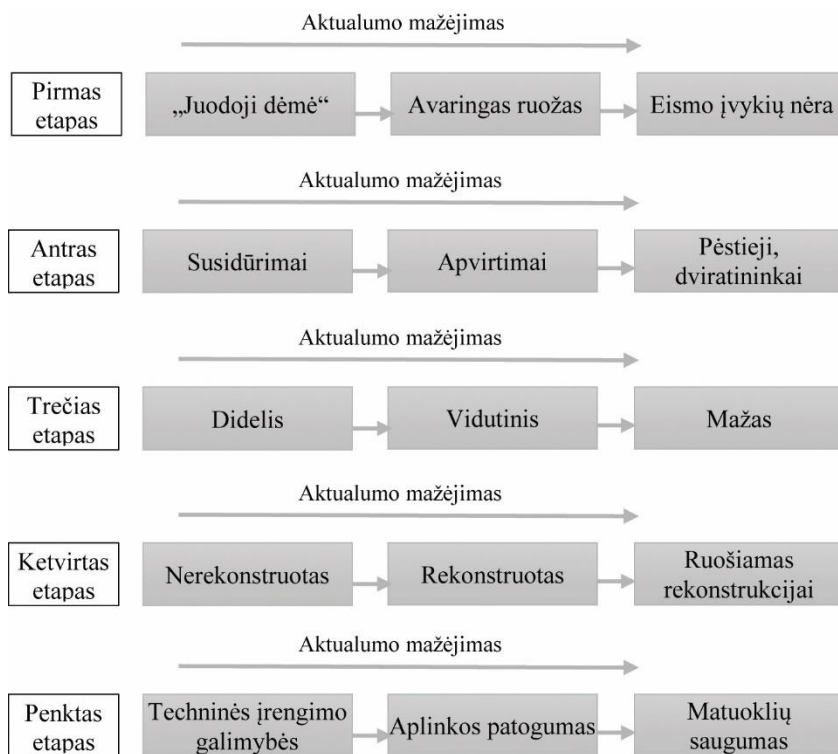
Dėl vietos trūkumo ar kitų veiksnių nesant galimybės įrengti mažąją žiedinę sankryžą gali būti įrengiama labai maža žiedinė sankryža. Šio tipo žiedinės sankryžos tinkamos įrengti kelių atkarpose, kuriose leidžiamas greitis yra 30 km/h (MN ŽSP 12). Turbožiedinės sankryžos rekomenduotinos neužstatytose teritorijose esančiose sankryžose, kuriose susikerta didelio eismo intensyvumo kelias su mažesnio eismo intensyvumo keliu. Turbožiedinės sankryžas galima įrengti ir užstatytose teritorijose, tačiau rekomenduojama kartu įrengti skirtingo lygio perėjas. Kai mažosios žiedinės sankryžos pralaidumo nepakanka ir sankryžoje susikerta panašaus eismo intensyvumo keliai, įrengiama dviejų eismo juostų mažoji žiedinė sankryža. Dviejų eismo juostų įvažose pėsčiųjų ir dviračių eismui negali būti suteikta pirmenybė. Jei pėsčiųjų ar dviračių eismas yra reguliarus, įvažos turėtų būti vienos eismo juostos. Didžioji žiedinė sankryža turėtų būti reguliuojama šviesoforais. Užstatytose teritorijose didžiosios žiedinės sankryžos įrengimo galimybė svarstyтина tik tada, kai ji tinka prie kelių išplanavimo arba apstatytoje teritorijoje yra pakankamai vietos apvalios formos sankryžai (MN ŽSP 12).

## Inžinerinės greičio kontrolės priemonės

Inžinerinių greičio kontrolės priemonių grupę sudaro: momentinio greičio matuokliai; vidutinio greičio matavimo sistema; informacinės momentinio greičio švieslentės.

*Momentinio greičio matuoklis* pažymėtas informaciniu kelio ženklu „Automatinė eismo kontrolė“, įrengtas ant specialaus stovo fiksuoja nustatyto greičio viršijimą ir automatiškai į Lietuvos kelių policijos tarnybos patalpose esantį Duomenų centrą perduoda užfiksuotos TP valstybinio numerio ženklus, vairuotojo nuotrauką, faktinį greitį ir tikslų pažeidimo laiką. Leistiną greitį viršijusių TP vairuotojai baudžiami pagal Lietuvos Respublikos administracinių teisės pažeidimų kodekso 124 str.

Lietuvoje yra parengta momentinio greičio matuoklių įrengimui tinkamų kelių ruožų parinkimo metodika, kurią sudaro 5 etapai (Stacionarių greičio... 2007).



**2.8 pav.** Momentinio greičio matuoklių įrengimui tinkamų kelių ruožų parinkimo etapai (Stacionarių greičio... 2007)

**Fig. 2.8.** Selection stages of appropriate road sections for installation of instantaneous speed measuring device (Stacionarių greičio... 2007)

Pirmame etape kelių ruožai atrenkami analizuojant „juodąsias dėmes“ ir nustatant tinkamumą momentinio greičio matuoklių įrengimui jose (2.8 pav.). Pirmuoju atrankos etapu prioritetas suteikiamas „juodajai dėmei“, tačiau atrenkamas kelio ruožas turi atitikti ne tik avaringumo reikalavimus. Gali pasitaikyti tokių atvejų, kai kitus reikalavimus geriau atitinka avaringas ruožas ne „juodoji dėmė“.

Antrame etape kelių ruožai suskirstomi į ruožus, kuriuose įvyksta eismo įvykiai, o jiems įvykti greitis turi ar gali turėti didžiausią įtaką ir greičio sumažėjimas gali lemti eismo įvykių skaičiaus sumažėjimą. Didelis greitis dažniausiai gali turėti įtakos susidūrimų ir apvirimų atsiradimui. Tačiau analizavimo metodu turi būti nustatoma tikimybiškai svarbiausia eismo įvykio priežastis. Reikia nustatyti ar leistino greičio viršijimas buvo eismo įvykio priežastis, ar:

- eismo įvykį lėmė nepasirinktas saugus greitis nepalankiomis klimatinėmis sąlygomis;
- eismo įvykį lėmė automobilio gedimas;
- eismo įvykį lėmė aiškus kelio infrastruktūros nepakankamumas (Stacionarių greičio... 2007).

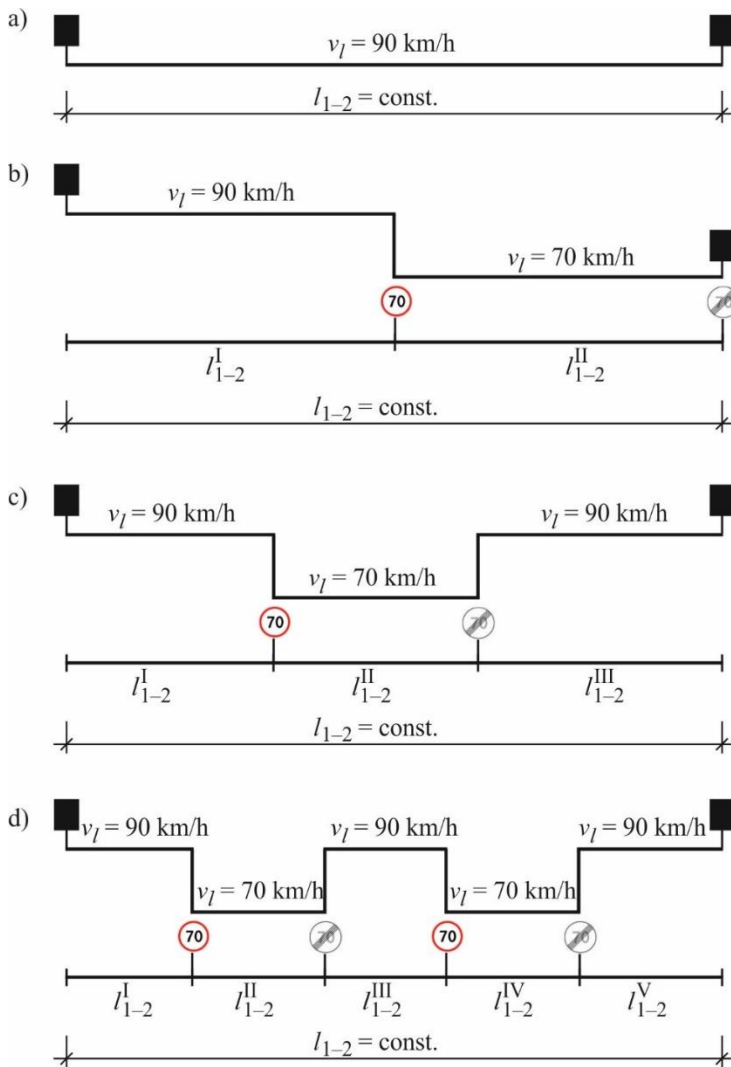
Trečiame etape momentinio greičio matuoklių įrengimui parenkamuose kelių ruožuose vertinamas eismo intensyvumas. Dideliam, vidutiniam ir mažam eismo intensyvumui apibūdinti Lietuvos automobilių keliuose turi būti suteikiamos tam tikros konkrečios ribos. Šiame etape vietoje (arba kartu) eismo intensyvumo kriterijaus gali būti naudojamas kelio svarbos šaliai kriterijus.

Ketvirtame etape kelių ruožai įvertinami pagal kelio būklę. Pirmenybė šiame etape teikiama kelių ruožams, kuriuose nėra atlikta kelio rekonstravimas ir artimiausiu metu to nesiruošiama daryti. Jei kelio ruožas yra rekonstruotas ir jame vis tiek yra eismo įvykių bei jis atitinka anksčiau minėtus kriterijus, ruože nagrinėjama momentinio greičio matuoklio įrengimo galimybė. Jei kelio ruožas planuojamas rekonstruoti, vertinama, kiek laiko yra likę iki rekonstravimo. Jei laiko intervalas yra gana ilgas, kelio ruožą galima traktuoti kaip neplanuojamą rekonstruoti.

Penktame etape įvertinama momentinio greičio matuoklio įrengimo vieta lokaliu požiūriu. Aplinkos patogumą lemia kelio aplinkos charakteristikos, t. y. kelio nuolydžiai, horizontaliosios kreivės, teritorijos apstatymas ir apželdinimo lygis. Įvertinama, kad momentinio greičio matuokliai būtų gerai matomi, t. y. jų neužstotų inžineriniai statiniai bei natūralūs gamtos elementai: medžiai, kalvos ar kitos kliūtys. Atsižvelgiant į leistiną greitį mažiausias kameros matomumas turi būti:

- kai leistinas greitis 60 km/h ir mažiau – 60 m;
- visos kitos leistino greičio ribos – 100 m.

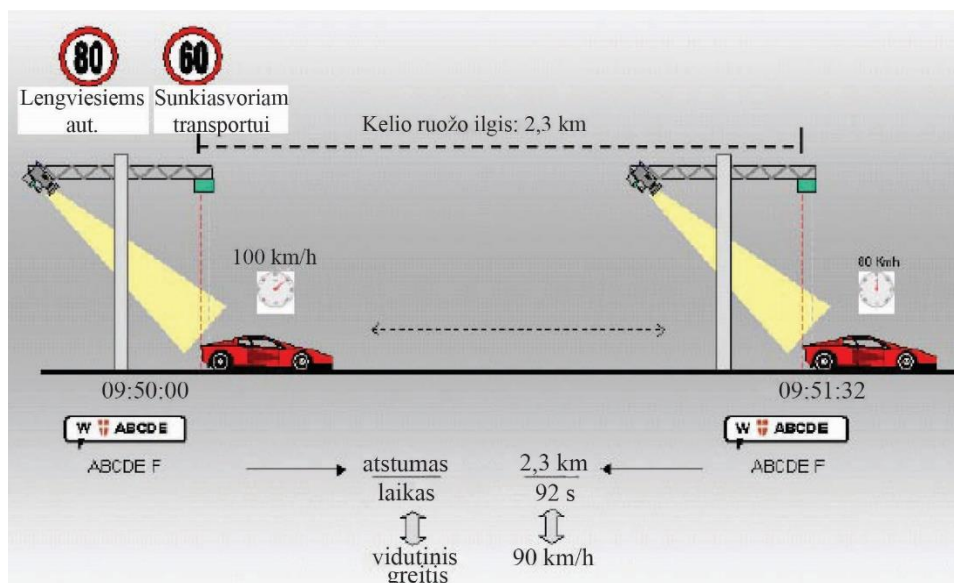
Dėl momentinio greičio matuoklių saugumo vengtinios atokios, neapgyvendintos vietos.



**2.9 pav.** Vidutinio greičio matavimo sistemos įrengimo vietų galimų variantų pavyzdys  
**Fig. 2.9.** Example of installation of average speed enforcement system possible options

*Vidutinio greičio matavimo sistema* grindžiama vidutinio greičio matavimu tam tikroje kelio atkarpoje, pažymėtoje informaciniais kelio ženklais. Matuojamoje atkarpoje leistinas greitis gali būti pastovus arba kintamas (2.9 pav.). Ruožo pradžioje ir pabaigoje stebėjimo kameros fiksuoja TP įvažiavimo ir išvažiavimo laikus, valstybinį numerį, vairuotoją. Stebėjimo kamerų įrengimas priklauso nuo

šalyje galiojančių teisės aktų. Kai greičio viršijimo atsakomybė taikoma TP savininkui, nebūtina TP fiksuoti iš priekio (2.10 pav.). Skirtingai nei tuo atveju, kai kelyje įrengti momentinio greičio matuokliai, esant VGMS duomenys apie TP fiksuojami tiek įvažiuojant, tiek išvažiuojant iš greičio matavimo ruožo, nepriklausomai ar viršytas greitis, ar ne.



**2.10 pav.** Vidutinio greičio matavimo sistemos veikimo principinė schema (Stefan 2006)

**Fig. 2.10.** Principal scheme of operation of average speed enforcement system (Stefan 2006)

Matuojamoje kelio atkarpoje užfiksuota TP laiko trukmė lyginama su nustatyta minimalia  $t_{1-2}$  (s), kuri apskaičiuota įvertinus atkarpos atstumą  $l_{1-2}$  (m) bei vidutinį leistiną greitį  $v_{vid.}$  (km/h):

$$t_{1-2} = 3,6 \times \frac{l_{1-2}}{v_{vid.}}. \quad (2.5)$$

TP pravažiavus kelio atkarpą greičiau nei nustatyta minimali laiko trukmė – pagal valstybinį numerį identifikuojamas TP savininkas.

*Informacinė momentinio greičio švieslentė* fiksuoja greitį, kurį parodo ekrane ir įrašo į atmintį. Neviršijus leistino greičio rodoma žalia spalva, o viršijus greitį pateikiama raudona spalva. Informacinės momentinio greičio švieslentes rengiamos (R ISEP 10):

- horizontalių kreivių prieigose;
- sankryžų zonose;

- ties pėsčiųjų perėjomis;
- tuose kelių ruožuose, kuriuose labai svarbu laikytis numatyto greičio apribojimo.

### Švietėjiška veikla

Bandant ką nors suvokti žmogaus pojūčiai sintezuojami su atmintyje esančia informacija ir patirtimi (Lapė, Navikas 2003). Eismo dalyviai gali suvokti savo atsakomybę, kai turi žinių apie tinkamo elgesio eisme taisykles. Eismo dalyviai gali mokėti tinkamai elgtis, jeigu bus gavę žinių ir turės įgūdžių.

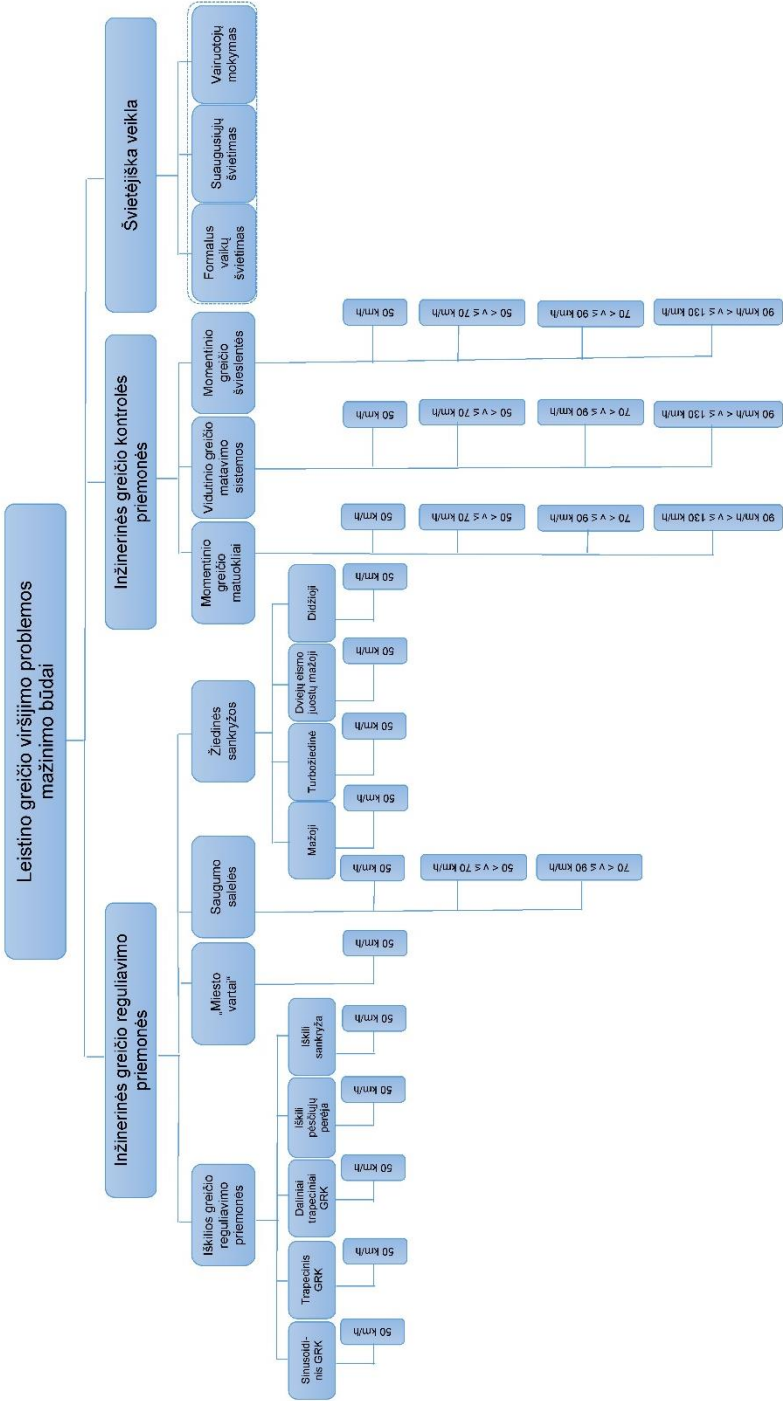
Eismo dalyvių tinkamo elgesio formavimui vykdoma švietėjiška veikla, kuri turi būti nuosekli, ilgalaikė. Eismo dalyvių švietimas/mokymas skirstomas į tris grupes (Asian Development Bank):

- *Formalus vaikų švietimas*. Vaikai yra viena iš pažeidžiamiausių eismo dalyvių grupių. Vaikų švietimas eismo saugumo klausimais turi būti vykdomas ikimokyklinėse, ir mokyklinėse švietimo įstaigose. Vaikų švietimas turi būti vykdomas pagal kiekvienai amžiaus grupei pritaikytas mokymo programas (apimančias tiek teorinius, tiek praktinius užsiėmimus).
- *Vairuotojų mokymas*.
- *Suaugusiųjų švietimas*. Kelių eismo saugumo problemų viešinimas bei švietėjiškos saugaus eismo kampanijos.

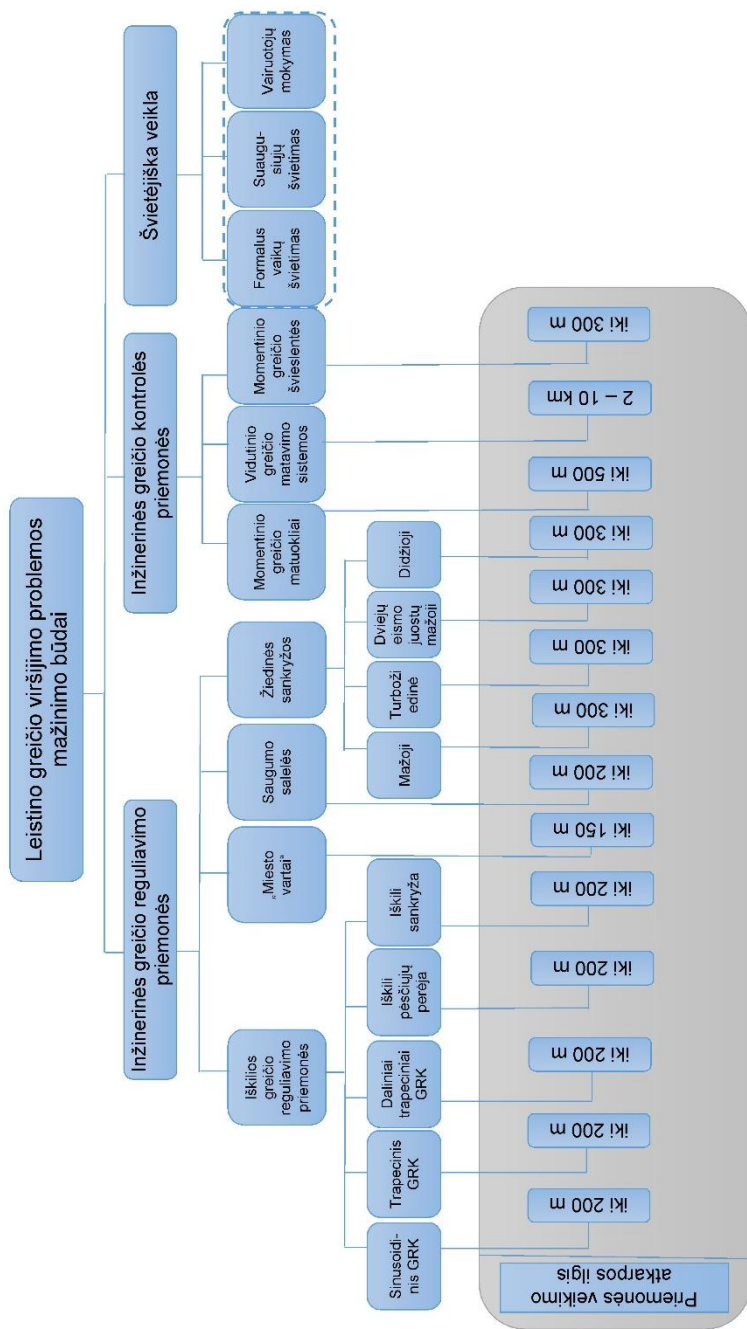
Wundersitz *et al.* (2010) nustatė veiksmingų švietėjiškų saugaus eismo kompanijų aspektus:

- kompanija turi perteikti informaciją ir prisidėti prie visuomenės požiūrio keitimo;
- baimės perteikimas yra efektyvus tik kai detalai apibūdinama grėsmė ir pateikiamas konkretus planas grėsmės išvengimui arba sumažinimui. Svarbu, kad auditorija (kuriai skirta kompanija) suprastų, kaip galima išvengti grėsmės;
- yra įrodymų, kad perteikiamos teigiamos emocijos didesnę poveikį daro vyrams, o perteikiama baimė – moterims.

Pagal R ISEP 10 ir MN ŽSP 12 dokumentuose nurodytas nuostatas, susistemintos inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių taikymo sąlygos (2.11 pav.). Šiame darbe priimama prielaida, kad krašto keliuose užmiestyje iškilių greičio reguliavimo priemonės neturėtų būti įrengiamos. Tokiu atveju iškilių greičio reguliavimo priemonės gali būti taikomos tik gyvenvietėse, kai leistinas greitis yra ne didesnis kaip 50 km/h (2.1 pav.). Susisteminus inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių taikymo sąlygas, matoma, kad greičio reguliavimo priemonės gali būti įrengiamos kelių ruožuose, kuriuose leistinas greitis ne didesnis kaip 50 km/h. Tik saugumo salelės gali būti įrengiamos esant ir 70 km/h, ir 90 km/h leistinam greičiui. Kontrolės priemonės gali būti taikomos esant visiems leistiniams greičiams.



2.11 pav. Inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių rūšys bei taikymo sąlygos  
Fig. 2.11. Types of traffic calming and speed control measures and application conditions



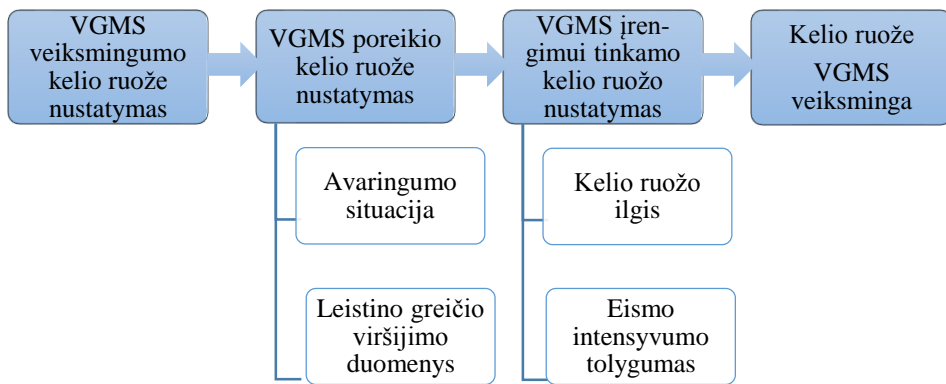
**2.12 pav.** Inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veikimo atkarpos ilgis  
**Fig. 2.12.** Section length of traffic calming and speed control measures operation



Pagal atliktų momentinio greičio matuoklių, išskiliųjų greičio reguliavimo priemonių, „miesto vartų“ tyrimų, kurie pateikti 2.1 poskyryje, bei užsienio patirtį nustatyti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veikimo atkarpų ilgiai pateikiami 2.12 paveikslo schemeje. Matoma, kad ilgiausia veikimo atkarpa yra VGMS – nuo 2 km iki 10 km.

Atsižvelgiant į tai, kad disertacijos tyrimo objektas apima valstybinės reikšmės magistralinius ir krašto keliuos, nenagrinėjami rajoniniai keliai, tai inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių susistemintose taikymo sąlygų bei veikimo atkarpų schemeose neįtraukiami apskritiminiai GRK bei labai mažos žiedinės sankryžos.

Kelio ruože nustatant VGMS tikėtiną veiksmingumą eismo saugumui svarbu įvertinti sistemos poreikį, kelio ruožo parametrus bei eismo parametrus (2.13 pav.).



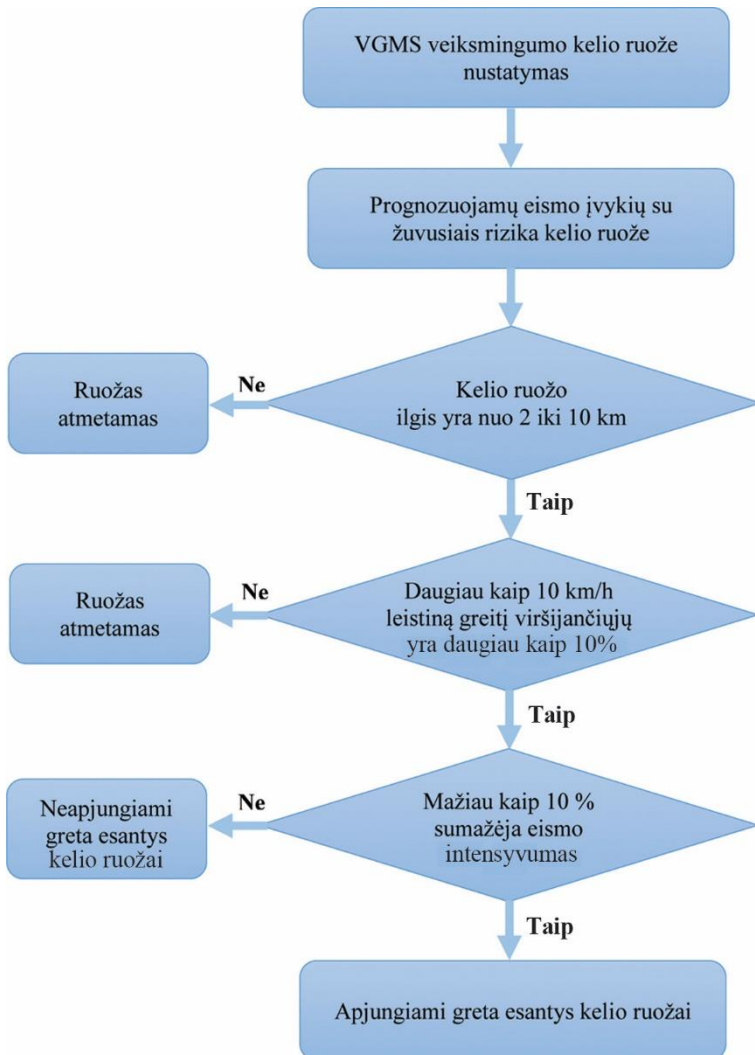
**2.13 pav.** Kelio ruože VGMS veiksmingumo eismo saugumui nustatymo kriterijai

**Fig. 2.13.** Determining criteria of average speed enforcement system's efficiency to traffic safety on road section

Remiantis užsienio šalių patirtimi VGMS rekomenduojama diegti kelių ruožuose, kurių ilgis nuo 2 km iki 10 km. Atsižvelgiant į sistemos veikimo principą (greičio matavimas dviejuose ruožo taškuose), svarbus kriterijus yra eismo intensyvumo tolygumas. Vertinant šį kriterijų svarbu atsižvelgti į kelio ruože esančias sankryžas, galinčias daryti įtaką eismo srauto nubyrejimui, kuris sumažins sistemos veiksmingumą. Norvegijos specialistų nustatytas VGMS diegimui tinkamo kelio ruožo parinkimo kriterijus apibrėžia, kad kelio ruože neturi būti sankryžų, kurių VMPEI > 250 aut./parą (Norwegian Public Roads Administration 2011).

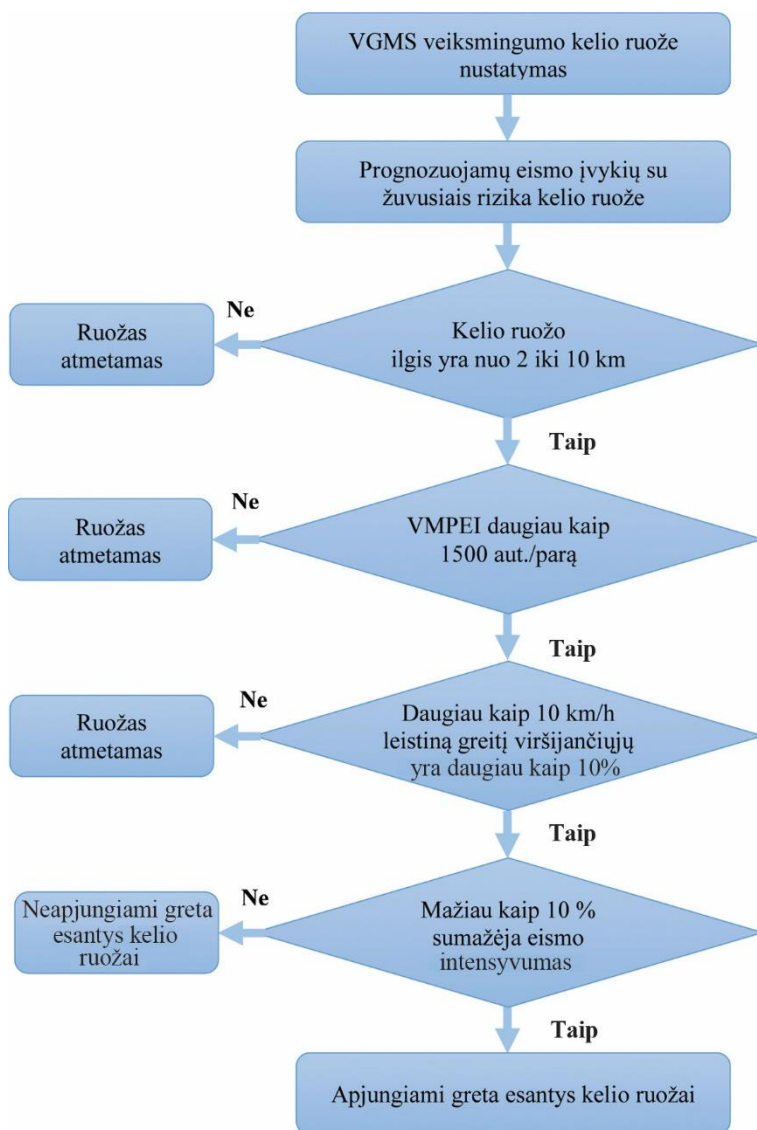
Vidutinio greičio matavimo sistema gali būti veiksminga, kai sąmoningi vairuotojai pamatę sistemą supras, jog kelio ruože yra didelė eismo įvykių bei sunkių jų pasekmių rizika, ir laikysis leistino greičio. Taip pat sistemos veiksmingumą gali padidinti daugumos vairuotojų, kurie matuojamame ruože viršys greitį, užfiksavimo ir įstatymais numatytos baudmės sulaukimo tikimybė.

Remiantis vidutinės greičio matavimo sistemos diegimo patirtimi užsienio šalyse bei įvertinus Lietuvoje kaupiamų duomenų detalumą, kelių infrastruktūrą ir eismo intensyvumą sudarytas sistemos veiksmingumo eismo saugumui Lietuvos valstybinės reikšmės kelio ruože nustatymo modelis (2.14 pav.; 2.15 pav.).



**2.14 pav.** Magistralinio kelio ruože vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui nustatymo modelis

**Fig. 2.14.** Setting model of average speed enforcement system efficiency to traffic safety on main road section



**2.15 pav.** Krašto kelio ruože vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui nustatymo modelis

**Fig. 2.15.** Setting model of average speed enforcement system efficiency to traffic safety on national road section

### 2.3. Vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo įvertinimo teorinio modelio taikymo principai

Lietuvos valstybinės reikšmės kelių tinklas yra suskaidytas į kelių ruožų bei sankryžų grupes. Kelių ruožų grupės sudarytos pagal 4 kriterijus (Jasiūnienė, Čygas 2013):

- kelio reikšmė;
- kelio skersinis profilis;
- leistinas greitis;
- eismo intensyvumas.

Pagal šiuos kriterijus sudarytos 34 kelių ruožų grupės, kuriose yra 13 254 homogeniniai kelių ruožai. Vidutinis vieno homogeninio kelio ruožo ilgis – 2,31 km. Jasiūnienė, Čygas (2013) sudarė Lietuvos valstybinės reikšmės kelių ruožų grupės matematinis eismo įvykių prognozavimo modelius, kurie parodo ryšį tarp eismo įvykių skaičiaus ir veiksnių, turinčių įtakos eismo įvykių atsiradimui:

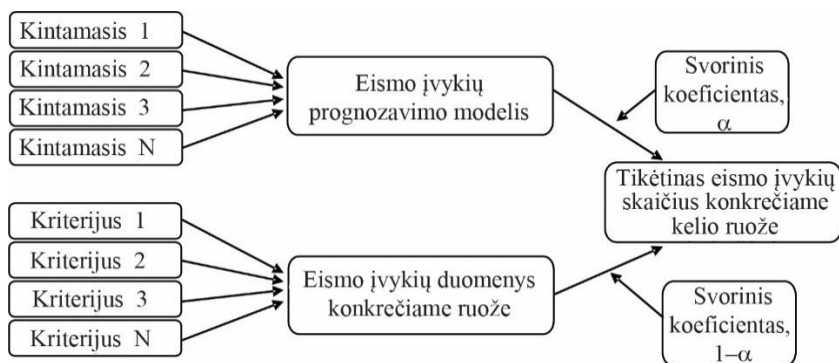
$$\text{Matematinis\_EIPM}_{gr_j} = AK_{gr_j} = \lambda = \frac{A_j \times 10^8}{365 \times m \times L_{gr_j} \times VMPEI_{gr_j}}; \quad (2.6)$$

$$VMPEI_{gr_j} = \frac{(L_1 \times VMPEI_1) + (L_2 \times VMPEI_2) + \dots + (L_i \times VMPEI_i)}{\sum_{i=1}^n L} e; \quad (2.7)$$

čia  $\text{Matematinis\_EIPM}_{gr_j}$  – matematinis eismo įvykių prognozavimo modelis homogeninei grupei  $j$ ;  $A_j$  – eismo įvykių skaičius per nagrinėjamą laikotarpį homogeninėje grupėje  $j$ ;  $m$  – nagrinėjamas laikotarpis, m.;  $L_{gr_j}$  – bendras homogeninės grupės  $j$  ruožų ilgis, km;  $VMPEI_{gr_j}$  – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas per nagrinėjamą laikotarpį, aut./parą;  $e$  – elastingumo koeficientas, parodantis avaringumo priklausomybės laipsnį nuo eismo intensyvumo, žemės paskirties pasikeitimo ir pan. Pavyzdžiui, prognozuojamas 2 % vidutinis metinis paros eismo intensyvumo augimas, tada elastingumo koeficientas bus 1,02. Sudarant matematinį eismo įvykių prognozavimo modelį, iš jo eliminuojami kelių ruožai, kuriuose eismo įvykių skaičius lygus 0.

Bendram eismo įvykių skaičiui prognozuoti sudaromame matematiniam eismo įvykių prognozavimo modelyje homogeninei grupei naudojami kelių ruožams priklausantys įskaitiniai eismo įvykiai. Sudarant eismo įvykių su žuvusiais matematinį modelį naudojami tik tie eismo įvykiai, kuriuose buvo žuvusiųjų. Prognozavimo modelių sudarymui naudojami 5 metų laikotarpio duomenys.

Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose įvykstantys eismo įvykiai prognozuojami Kelių tinklo saugumo vertinimo programa Tarva LT naudojant empirinį Bajeso metodą. Daugelis mokslininkų (Hauer 1997; Persaud *et al.* 2001; Hauer *et al.* 2002; Harwood *et al.* 2003; Montella 2005, 2009, 2010; Persaud, Lyon 2007; Elvik 2008; Montella *et al.* 2012, 2015b; Azizi, Sheikholeslami 2013; Zhou *et al.* 2013; Wu *et al.* 2015) nurodo, kad šis metodas yra tikslus ir plačiai naudojamas eismo saugumo srityje. Empirinis Bajeso metodas remiasi prielaida, kad panašioje aplinkoje, kurioje vyrauja panašios eismo sąlygos, yra panaši eismo įvykių rizika. Naudojant šį metodą, prognozuojamas eismo įvykių skaičius apjungiant du informacijos šaltinius: istorinius eismo įvykius tam tikrame kelio elemente ir matematinį eismo įvykių prognozavimo modelį, nusakantį eismo įvykių riziką savo aplinka panašiuose kelio elementuose (2.16 pav.).



**2.16 pav.** Skaičiuojant prognozuojamą eismo įvykių skaičių Empirinio Bajeso metodo taikymo iliustracija (Sørensen, Elvik 2008; Jasiūnienė, Čygas 2013; Jasiūnienė, Jateikienė 2015)

**Fig. 2.16.** Example of the use of empirical Bayes method to calculate the expected number of accidents (Sørensen, Elvik 2008; Jasiūnienė, Čygas 2013; Jasiūnienė, Jateikienė 2015)

Taikant empirinį Bajeso metodą, bendroje formulėje (2.8) (Sørensen, Elvik 2008) sujungiama informacija apie eismo įvykius praeityje, tinkamiausias matematinis eismo įvykių modelis ir atsitiktinis eismo įvykių pakitimas. Kuo didesnis atsitiktinis eismo įvykių pakitimas, tuo matematinis eismo įvykių modelis yra reikšmingesnis už eismo įvykių statistiką.

$$A_{prog_i} = \alpha \times \lambda + (1 - \alpha) \times A_{istor_i} ; \quad (2.8)$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - \lambda/k} ; \quad (2.9)$$

čia  $A_{prog_i}$  – prognozuojamas eismo įvykių skaičius kelio ruože  $i$ ;  
 $\lambda = \text{Matematinis\_EIPM}_{gr_j}$  – matematinis eismo įvykių prognozavimo modelis homogeninei grupei  $j$ , kuriai priklauso kelio ruožas  $i$ ;  $A_{istor_i}$  – istorinių eismo įvykių skaičius kelio ruože  $i$ ;  $k$  – modelio atitikimo kriterijus;  $\alpha$  – svorinis koeficientas, kuris reiškia svorį, suteikiamą homogeninės kelių grupės matematiniam eismo įvykių modeliui, derinant jį su istorinių eismo įvykių skaičiumi.

2011–2014 metų laikotarpio avaringumo statistika rodo, kad pagal eismo įvykių, žuvusiųjų bei sužeistųjų skaičių, tenkantį 1-am kelio kilometrui, avaringiausi keliai buvo magistraliniai. Todėl sudarytas magistralinių kelių ruožuose VGMS veiksmingumo eismo saugumui nustatymo modelis, kuris susideda iš 4 nustatymo etapų.

*Pirmame etape* įvertinama homogeniniuose magistralinių kelių ruožuose prognozuojamų eismo įvykių su žuvusiais rizika:

$$R_{prog\_z_i} = \frac{A_{prog\_z} \times 10^8}{365 \times L_i \times VMPEI_i}; \quad (2.10)$$

čia  $R_{prog\_z_i}$  – prognozuojamų eismo įvykių su žuvusiais rizika kelio ruože  $i$ ;  
 $A_{prog\_z}$  – prognozuojamų eismo įvykių su žuvusiais skaičius kelio ruože  $i$ ;  $L_i$  – kelio ruožo  $i$  ilgis, km;  $VMPEI_i$  – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas kelio ruože  $i$ , aut./parą.

*Antrame etape* įvertinamas homogeninių kelių ruožų ilgis. Remiantis užsienio šalių patirtimi, kad VGMS būtų veiksminga, parenkami kelių ruožai nuo 2 km iki 10 km.

*Trečiame etape* pagal didžiausią prognozuojamų eismo įvykių su žuvusiais riziką išrikiuotuose homogeniniuose kelių ruožuose įvertinamas leistiną greitį viršijančių vairuotojų procentas. Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose įrengtuose stacionariuose periodiniuose eismo intensyvumo apskaitos postuose fiksuojamas ne tik eismo intensyvumas, bet ir greitis. Pagal Lietuvos Respublikos administracinių teisės pažeidimų kodekso 124 str. transporto priemonių vairuotojams, kurie leistiną greitį viršijo iki 10 km/h, užtraukiamas įspėjimas. Siekiant kad VGMS būtų veiksminga, leistiną greitį viršiję vairuotojai turi būti nubausti. Todėl vertinamas daugiau kaip 10 km/h leistiną greitį viršijančių vairuotojų procentas ir atrenkami kelių ruožai, kuriuose viršijančių yra daugiau kaip 10 %.

*Ketvirtame etape*, įvertinus pirmame – trečiame etapuose parinktų kelių ruožų aplinkos sąlygas bei eismo intensyvumo tolygumą, kai kurie greta esantys kelių ruožai apjungiami. Siekiant kad VGMS būtų veiksminga svarbu, jog TP

būtų užfiksuojamos abiejuose sistemos matavimo taškuose. Todėl įvertinamas sankryžose, kurios skiria kelių ruožus, išsukančių į šalutinius kelius TP srauto dydis. Kai jis mažesnis kaip 10 % bendro kelio eismo intensyvumo, greta esantys ruožai apjungiami.

## 2.4. Antrojo skyriaus išvados

1. Leistino greičio viršijimas nuo 21 km/h iki 30 km/h yra dažniausiai užfiksuojamas Kelių eismo taisyklių pažeidimas.
2. Tyrimais nustatyta, kad momentinio greičio matuoklio veikimo atkarpa yra iki 500 m ilgio nuo matuoklio įrengimo vietos. Tuo tarpu „miesto vartų“ veikimo atkarpos ilgis yra 150 m. Taip pat nustatyta, kad atstumas 300 m ir daugiau tarp trapecinių greičio reguliavimo kalnelių neužtikrina 50 km/h transporto srauto greičio neviršijimo.
3. Susisteminus inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių taikymo sąlygas, matoma, kad greičio reguliavimo priemonės gali būti įrengiamos kelių ruožuose, kuriuose leistinas greitis ne didesnis kaip 50 km/h. Tik saugumo salelės gali būti įrengiamos esant ir 70 km/h, ir 90 km/h leistinam greičiui. Kontrolės priemonės gali būti taikomos esant visiems leistiniems greičiams.
4. Atsižvelgiant į Lietuvos keliuose įdiegtų priemonių tyrimų rezultatus bei užsienio patirtį nustatyti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veikimo atkarpų ilgiai. Vidutinio greičio matavimo sistemos veikimo atkarpa yra ilgiausia – nuo 2 km iki 10 km.
5. Sudaryti magistralinių ir krašto kelių ruožuose vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui nustatymo modeliai apima 4 etapus. Pirmame etape įvertinama homogeniniuose kelių ruožuose prognozuojamų eismo įvykių su žuvusiais rizika. Antrame etape įvertinamas homogeninių kelių ruožų ilgis. Trečiame etape įvertinamas kelių ruožuose leistiną greitį viršijančių vairuotojų procentas. Ketvirtame etape įvertinamos parinktų kelių ruožų aplinkos sąlygos bei eismo intensyvumo tolygumas. Šio etapo metu kai kurie greta esantys kelių ruožai apjungiami.





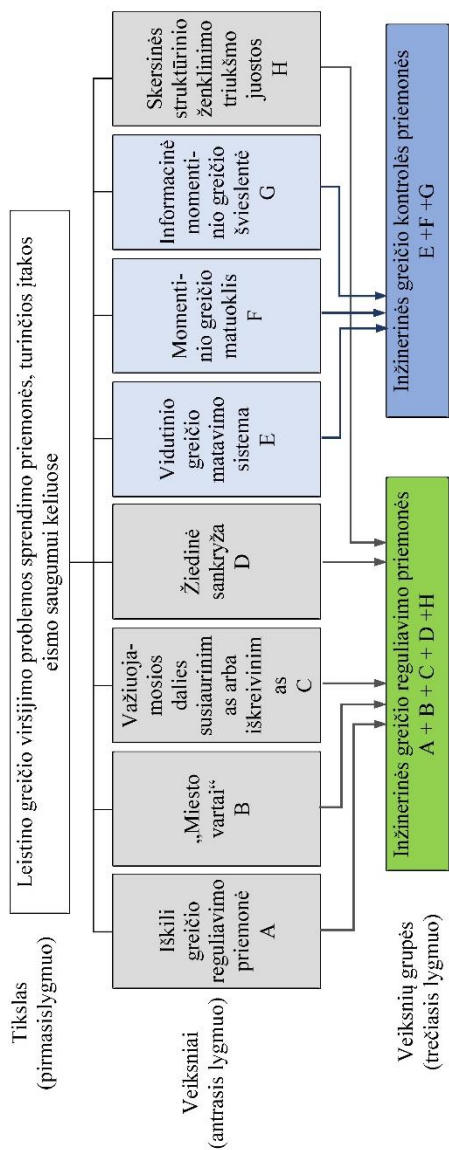
---

## **Vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui tyrimas**

### **3.1. Inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui daugiakriterinis tyrimas**

Ne visi vairuotojai paiso draudžiamųjų greičio ribojimo kelio ženklų. Kadangi leistino greičio viršijimas yra dažniausias Kelių eismo taisyklių pažeidimas, o Lietuvos eismo saugumo situacija yra daug blogesnė nei pažangių pasaulio valstybių, plačiai Lietuvos keliuose diegiamos papildomos leistino greičio palaikymo arba mažinimo priemonės, kurios skirstomos į dvi grupes (3.1 pav.):

- Inžinerinės greičio reguliavimo priemonės;
- Inžinerinės greičio kontrolės priemonės.



**3.1 pav.** Leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonių hierarchijos modelis

**Fig. 3.1.** Hierarchy model of speeding problem resolution measures

Inžinerinės greičio reguliavimo ir kontrolės priemonės yra nevienodai veiksmingos. Kiekvienos priemonės veiksmingumą galima nustatyti iš daugiamečių avaringumo duomenų, juos palyginant prieš ir po priemonės įdiegimo. Tokiam nustatymo metodui būtina didelė duomenų imtis. Tačiau skirtingų priemonių veiksmingumą galima palyginti daugiakriteriniais sprendimų priėmimo metodais (angl. *Multiple-Criteria Decision Making – MCDM*), grindžiamais ekspertų nuomone. Ekspertai, naudodami savo kvalifikaciją, patirtį ir nuojautą, palygina visus objekto veiksnus (kriterijus) arba poromis, jiems suteikdami rangus (vietas) arba svorius. Anketos struktūra, kurią sudaro problemos tyrinėtojas, parengiama konkrečiam metodui.

Vienas ir dažniausiai taikomų metodų, leidžiančių nustatyti objekto kriterijų normalizuotuosius svorio koeficientus (jų suma lygi 1,0000), yra Analitinis Hierarchijos Proceso (AHP) metodas (Saaty 1990; Saaty, Vargas 2012; Dong, Cooper 2016).

### **3.1.1. Analitinio hierarchijos proceso metodo tinkamumo greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui tirti teorinis pagrindimas**

„Hierarchijos analizės metodas“ dažniausiai vadinamas Analitiniu Hierarchijos Proceso (angl. *Analytic Hierarchy Process*) metodu, leidžia poromis tarp savęs palyginti atskirus veiksnus (kriterijus), suteikiant jiems prioritetą vienas kito atžvilgiu. Jį taikant galima nustatyti vieno lygmens hierarchijos rodiklių svorius aukštesnio lygmens atžvilgiu arba nestruktūrizuotų rodiklių (kriterijų, veiksnų) sistemos svorius (svorio koeficientus). Metodo esmę sudaro porinio lyginimo matrica  $A$ . Ekspertas lygina tarpusavyje visus tiriamąjį objektą sudarančius veiksnus (rodiklius, kriterijus)  $R_i$  ir  $R_j$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ), čia  $n$  – lyginamų kriterijų (inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių) skaičius. Kriterijų palyginimui naudojama penkių balų skalė (1–3–5–7–9).

AHP metodas yra patogus, nes paprasčiau lyginti inžinerines greičio reguliavimo ir kontrolės priemones po dvi, o ne visas iš karto. Kriterijų palyginimas yra nesudėtingas ir kokybiškas AHP metodą gerai išmanančiam ekspertui. Nurodoma, kiek vienas kriterijus yra svarbesnis už kitą. Metodas leidžia kriterijų kokybinį (lingvistinį) vertinimą pateikti kiekybiniu (skaitiniu) vertinimu.

Kriterijų porinio palyginimo rezultatas yra kvadratinė matrica  $A = \|a_{ij}\|$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ). Kriterijų svarbos vertinimui T. L. Saaty (Saaty 1980, 1990; Kou *et al.* 2013) pasiūlė taikyti dažniausiai praktikoje naudojamą nelyginių sveikųjų skaičių skalę 1, 3, 5, 7 ir 9. Pildant porinio lyginimo matricą gali būti naudojami ir tarpiniai lyginiai įverčiai ( $a_{ij} = 2, 4, 6, 8$ ), kai eksperto nuomone nagrinėjama būseną skiriasi nuo tipinės (3.1 lentelė).

**3.1 lentelė.** Kriterijų tarpusavio svarbos intensyvumas (T. L. Saaty vertinimo skalė ir jos lingvistinis aprašas)

**Table 3.1.** Intensity of criteria mutual interest

Svarbos lygis	Apibrėžimas (lingvistinis aprašas)
1	Kriterijai vienodai svarbūs
3	Vienas kriterijus truputį svarbesnis už kitą
5	Vienas kriterijus daug svarbesnis už kitą
7	Vienas kriterijus labai daug svarbesnis už kitą
9	Vienas kriterijus nepalyginamai svarbesnis už kitą
2, 4, 6, 8	Tarpinės reikšmės

Tarkime, kad reikia palyginti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių  $R_1, \dots, R_n$  svarbą arba įtaką avaringumo sumažėjimui keliuose. Nagrinėjama ideali situacija, taikant prielaidą, kad lyginamų inžinerinių priemonių svarba yra idealiai vienoda. Svarba pažymima įverčiais  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ . Santykis:

$$a_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j}, (i, j = 1, 2, \dots, n); \quad (3.1)$$

rodo, kiek kartų  $i$ -oji priemonė  $R_i$  yra svarbesnė už  $j$ -ąją priemonę  $R_j$ .  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ .

Matricos  $A$  elementai pildomi laikantis reikalavimų. Pirma, matricos  $A$  elementai  $a_{ij} = 1$ , kai abiejų lyginamų kriterijų reikšmingumai tiriamojo reiškinio (objekto) atžvilgiu yra vienodi. Šiuo atveju visi pagrindinės įstrižinės elementai  $a_{ii} = 1$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), nes kiekvienas kriterijus lyginamas pats su savimi. Antra, matricos  $A$  elementai  $a_{ij} = 3$ , kai kriterijus  $R_i$  yra truputį svarbesnis už kriterijų  $R_j$ . Trečia, matricos  $A$  elementai  $a_{ij} = 5$ , kai kriterijus  $R_i$  yra daug svarbesnis už kriterijų  $R_j$ . Ketvirta, matricos  $A$  elementai  $a_{ij} = 7$ , kai kriterijus  $R_i$  yra labai daug (žymiai) svarbesnis už kriterijų  $R_j$ . Penkta, matricos  $A$  elementai  $a_{ij} = 9$ , kai kriterijus  $R_i$  yra nepalyginamai (absoliučiai) svarbesnis už kriterijų  $R_j$ .

Matricos  $A$  elementus  $a_{ij}$  galima laikyti kaip kriterijų  $R_i$  ir  $R_j$  reikšmių santykius, o po šių reikšmių normalizavimo – kaip kriterijų svorių santykius. Šiuo atveju elementų  $a_{ij}$  skalė būtų visų racionaliujų skaičių aibė. Eksperto vertinamų kriterijų porinio lyginimo kvadratinė matrica atrodo taip ( $i$  – eilutės,  $j$  – stulpeliai):

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_1}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_1}{\omega_j} & \dots & \frac{\omega_1}{\omega_n} \\ \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_j}{\omega_j} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_n} \\ \frac{\omega_2}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_2}{\omega_j} & \dots & \frac{\omega_2}{\omega_n} \\ \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_j}{\omega_j} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\omega_i}{\omega_1} & \frac{\omega_i}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_i}{\omega_j} & \dots & \frac{\omega_i}{\omega_n} \\ \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_j}{\omega_j} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\omega_n}{\omega_1} & \frac{\omega_n}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_j} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_n} \\ \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_j}{\omega_j} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_n} \end{bmatrix}. \quad (3.2)$$

Idealiu atveju, kai matricos  $A$  elementai yra nežinomų svorio koeficientų santykiai, ji yra atvirkštinė simetrinė (angl. *reciprocal*), t. y.  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ . Iš tikrųjų  $a_{ij} = \omega_j / \omega_i$ . Todėl galima pildyti matricos dalį, esančią virš pagrindinės įstrižainės arba po ja.

Matricos  $A$  atvirkštinis simetriškumas idealiu atveju yra suprantamas taip, pavyzdžiui, jei vienas daiktas yra penkis kartus sunkesnis už kitą, tai šis yra penkis kartus lengvesnis arba  $1/5$  lengvesnis už pirmą. Dėl to idealiu atveju, kai elementai  $a_{ij}$  yra nežinomų svorių santykiai, bet kokių dviejų gretimų matricos  $A$  stulpelių atitinkami elementai bus proporcingi. Tai reiškia, kad stulpelių elementų santykiai bus vienodi. Pavyzdžiui, imant pirmojo ir antrojo matricos  $A$  stulpelių santykį.

$$\frac{a_{i1}}{a_{i2}} = \frac{\frac{\omega_i}{\omega_1}}{\frac{\omega_i}{\omega_2}} = \frac{\omega_2}{\omega_1}. \quad (3.3)$$

Analogiškai bus proporcingi ir bet kurių dviejų matricos eilučių elementai ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Ekspertas, po du palygindamas tiriamojo objekto kriterijus, taiko 3.1 lentelėje pateiktą tarpusavio svarbos intensyvumo lingvistinį aprašą ir suteikia jį atitinkantį svarbos lygį nuo 1 iki 9. Patogu pradžioje objekto kriterijams suteikti rangus ir svarbiausią kriterijų lyginti su antru pagal svarbą, trečiu pagal svarbą ir t. t., o pabaigoje – su paskutiniu (n-uju) pagal svarbą (užpildoma svarbiausio kriterijaus eilutė iš sveikųjų skaičių) (Podvezko, Sivilevičius 2013). Po to tokia pat seka palyginamas antrasis pagal svarbą kriterijus su visais likusiais kriterijais (užpildoma antrojo pagal svarbą kriterijaus eilutė iš  $n - 1$  sveikųjų ir vieno trupmeninio skaičiaus) ir t. t.

Labai svarbus yra eksperto užpildytos porinio lyginimo matricos suderinamumas, rodantis jos pildymo logikos neprieštarumą. Mokslo publikacijų analizė rodo, kad ne visada pavyksta teisingai užpildyti matricą. Būtina lyginimo matricos suderinamumo sąlyga yra jos elementų svarbumo tranzityvumas. Jei matricos  $A$  elementas (kriterijus) yra svarbesnis (didesnis) už elementą  $B$ , o elementas  $B$  yra svarbesnis už elementą  $C$ , tai elementas  $A$  yra svarbesnis už elementą  $C$ . Praktikoje, taikant tranzityvumo sąlygą, nesudėtinga nustatyti prieštarinčiai užpildytos matricos elementus, kurie šios sąlygos netenkina (ją būtina ištaisyti arba nenaudoti tyrime).

Lyginimo matricos suderinamumo sąlygą galima patikrinti matematiškai. Idealiu atveju, taikydami lygybę (3.2), dauginame matricą  $A$  iš stulpelio vektoriaus svorių, t. y. transponuotos eilutės  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ :

$$\begin{aligned} A\omega &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_1}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_1}{\omega_n} \\ \frac{\omega_2}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_2}{\omega_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\omega_n}{\omega_1} & \frac{\omega_n}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} n\omega_1 \\ n\omega_2 \\ \vdots \\ n\omega_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix} = n\omega. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Taip sprendžiamas specialistams žinomas matematikos tikrinės reikšmės ir tikrinio vektoriaus uždavinys:

$$A\omega = \lambda\omega, \quad (3.5)$$

su tikrine reikšme (angl. *eigenvalue*)  $\lambda = n$ , čia lyginimo matricos  $A$  eilė arba tiriamojo objekto kriterijų (tiriamu atveju inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių) skaičius.

Iš lygybės (3.5) matome, kad Saaty (1980) porinio lyginimo matricos  $A$  svoriai  $\omega_i$  yra tikrinio vektoriaus, atitinkančio didžiausią tikrinę reikšmę (angl. *largest eigenvalue*)  $\lambda_{\max}$ , normalizuotos reikšmės, kurių suma lygi vienetui:  $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ .

Tiksliausias iš apytikslių objekto kriterijų svorių (santykinės svarbos)  $\omega_i$  nustatymo algoritmų yra grindžiamas porinio lyginimo matricos eilučių elementų  $a_{ij}$

sandaugų geometrinių vidurkių skaičiavimais (Podvezko 2009; Sivilevičius 2011a; Lazauskas *et al.* 2015; Stanujkic 2016; Chen *et al.* 2016):

$$\omega_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}} \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (3.6)$$

Normalizavus matricos eilučių elementų sandaugas, apskaičiuojami kriterijų svoriai  $\omega_i$ , rodantys vieno eksperto nuomonę.

Tikrinamas porinio lyginimo matricos  $A$  suderinamumas, kuriam nustatyti reikia skaičiuoti didžiausią tikrinę reikšmę  $\lambda_{\max}$ .

Randoma porinio lyginimo matricos  $A$  sandauga iš stulpelio  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$  svarių.

Tam kiekvieno kriterijaus sandaugų suma  $\sum_{j=1}^n a_{ij} \omega_j$  dalinama iš atitinkamo kriterijaus apskaičiuotos tikrinio vektoriaus (normalizuoto svorio koeficiento)  $\omega_i$  reikšmės ir gaunamas visų objekto kriterijų aritmetinis vidurkis:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \omega_j}{\omega_i}. \quad (3.7)$$

Stanujkic (2016) didžiausiai tikrinei reikšmei  $\lambda_{\max}$  skaičiuoti pateikia (7a) formulę:

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n \left\{ \left( \sum_{i=1}^n a_{ij} \right) \omega_j \right\}; \quad (3.7a)$$

čia  $\omega_i$  – kriterijaus  $C_i$  svoris,  $n$  – kriterijų skaičius.

Nustatyta (Saaty 1980), kad  $n$ -osios eilės atvirkštinės simetrinės matricos didžiausia tikrinė reikšmė  $\lambda_{\max} \geq n$ . Idealiu atveju, kai porinio lyginimo matrica yra visiškai suderinta, tai ir jos stulpelių elementai yra proporcingi,  $\lambda_{\max} = n$ . Matricos suderinamumą rodo skirtumas  $\lambda_{\max} - n$  ir matricos  $A$  eilė  $n \times n$ . Suderinamumo indeksas (angl. *consistency index*)  $C.I.$  skaičiuojamas taip:

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}. \quad (3.8)$$

Eksperto užpildytos porinio lyginimo matricos  $A$  suderinamumas (neprieštarinumas) tuo geresnis, kuo yra mažesnė  $C.I$  reikšmė – idealiu atveju  $C.I. = 0$ .

Tokia matrica, kurios  $C.I. = 0$ , praktikoje gaunama labai retai, net ir tada, kai visiškai tenkinama jos elementų tranzityvumo sąlyga. Kiekybiškai atvirkštinės simetrinės matricos suderinamumo laipsnį galima nustatyti palyginus vertinamos matricos suskaičiuotą suderinamumo indeksą  $C.I.$  su tokios pat eilės atsitiktinai sugeneruotos (pagal skalę 1 – 3 – 5 – 7 – 9) atvirkštinės simetrinės matricos atsitiktiniu indeksu (angl. *random index*)  $R.I.$  (Saaty, Ozdemir 2003; Dong, Cooper 2016), pateiktu 3.2 lentelėje.

**3.2 lentelė.** Nuo matricos eilės (kriterijų skaičiaus)  $n$  priklausančios atsitiktinio indekso  $R.I.$  reikšmės

**Table 3.2.** Random index  $R.I$  values depending on matrica row (criteria)  $n$

Matricos eilė $n$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R.I.$	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Kai tiriamojo objekto porinio lyginimo matrica yra didesnė kaip 15 eilės, atsitiktinio indekso  $R.I.$  reikšmę galima skaičiuoti ir pagal (3.9) formulę (Taha 1997, Saaty 1994):

$$R.I. = 1,98 \frac{n-2}{n} = 1,98 \left[ 1 - \frac{n-1}{n(n-1)/2} \right]. \quad (3.9)$$

Matricos suderinamumo indekso  $C.I.$  ir atsitiktinio indekso  $R.I.$  santykis vadinamas suderinamumo santykiu (angl. *consistency ratio*)  $C.R.$ , rodančiu porinio lyginimo matricos  $A$  suderinamumo laipsnį:

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}. \quad (3.10)$$

Matricą pagrįstai galima vertinti kaip suderintą, kai jos apskaičiuotasis suderinamumo santykis  $C.R.$  yra mažesnis arba lygus 0,1 arba 10 % (Saaty 1980; Kou *et al.* 2013).

Suderinamumo santykis  $C.R.$  leidžia nustatyti kiekvieno eksperto, vertinimo neprieštaringumą. Atskirų ekspertų nuomonės gali būti ir prieštaringos. Ekspertų grupės nuomonių suderinamumas yra įmanomas, jeigu visa jų grupė kompromisų būdu (diskutuodami) suderins savo nuomones ir sudarys vieną vienintelę suderintą matricą  $A$ . Šis ekspertų grupės nuomonių bendros matricos užpildymo pro-



cesas yra ilgas, sudėtingas ir ne visada įmanomas. Du ekspertai vieną porinio lyginimo matricą pildė ilgai, nes kiekvienas iš jų turi savo asmeninę nuomonę, kuri jam atrodo teisingesnė nei kito kolegų.

### **3.1.2. Greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių reikšmingumą avaringumo sumažėjimui jų veikimo atkarpoje praktinis tyrimas analitiniu hierarchijos proceso metodu**

Pagal 3.1 paveikslą pateikto hierarchijos modelio struktūrą buvo parengta ekspertų apklausos anketa, kurią sudaro aštuonios leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonės (LGVSP) (A priedas). Pasirinktas aštuonių kriterijų objektas atitinka geriausiai AHP metodui tinkantį „septynių plus minus du“ kriterijų modelį (Saaty, Odzimir 2003). Anketoje pateiktas priemonės yra išsamiai apibūdintos išplėstiniame apraše tam, kad kiekvienas ekspertas geriau suprastų jų paskirtį, savybes ir nesivargintų spėliodamas, ar taip pat supranta kaip tyrimą inicijavęs ir atliekantis tyrėjas ar mokslininkas. Be kreipimosi į ekspertą, anketoje pateiktos ir pastabos su nurodymu, kaip reikia pildyti rangus, atitinkančius kiekvienos leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonės reikšmingumą avaringumo sumažėjimui keliuose.

Atliekant tyrimą buvo svarbu parinkti objekto esmę išmanančius ir galinčius užpildyti ne tik anketos (A priedas) rangus, bet ir porinio lyginimo matricą, kurios tikrinio vektoriaus reikšmės yra kriterijų normalizuotieji svoriai  $\omega_i$ , ekspertus. Tyrimo pradžioje buvo parinkti 26 ekspertai, turintys praktinės ir mokslinės patirties civilinės inžinerijos arba transporto inžinerijos mokslo kryptyse. Kiekvienas ekspertas savarankiškai suteikė kriterijams rangus ir dalyvaujant AHP metodą išmanančiam tyrėjui užpildė porinio lyginimo matricą.

Iš kiekvieno eksperto gavus užpildytą kriterijų rangų lentelę (A priedas) ir aštuntos eilės porinio lyginimo matricą, buvo skaičiuojami jos svarbiausieji parametrai: tikrinis vektorius  $\omega_i$ , kriterijų rangai  $r_i$ , didžiausia tikrinė reikšmė  $\lambda_{\max}$ , suderinamumo indeksas  $C.I.$  ir suderinamumo santykis  $C.R.$  (kaip pateikta 3.1 poskyryje). Išanalizavus visų 26 ekspertų matricų  $C.R.$  reikšmes, nustatyta, kad 11 matricų suderinamumas nėra tinkamas, nes jų  $C.R. > 0,1$ . Iš jų 3 ekspertai matricas pataisė. Kol vyko nesuderintų porinio lyginimo matricų koregavimas, papildomai savo nuomonę pareiškė dar 4 ekspertai, kurių  $C.R.$  buvo mažesni už 0,1.

Tyrimo pabaigoje liko 22 ekspertų suderintos matricos, kurių rezultatai buvo panaudoti vertinant inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių reikšmingumą avaringumo sumažėjimui keliuose. Disertacijoje pateikiama atsitiktinai paimto aštuntojo eksperto užpildyta porinio lyginimo matrica ir jos skaičiavimo svarbiausios reikšmės (3.4 lentelė.).

Pateikiamas aštuntojo eksperto (E8)  $\lambda_{\max}$ ,  $C.I.$  ir  $C.R.$  reikšmių apskaičiavimo pavyzdys. Šio eksperto porinio lyginimo matricos (3.4 lentelė) pirmos eilutės A

kriterijui suteikti svarbos lygiai  $a_{ij}$  dauginami iš atitinkamo kriterijaus svorio koeficiento  $\omega_j$ , t. y.  $\omega_A, \omega_B, \omega_C, \dots, \omega_H$  ir gaunama šių sandaugų suma:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \omega_j = a_{i1} \cdot \omega_A + a_{i2} \cdot \omega_B + \dots + a_{i_j} \cdot \omega_j + \dots + a_{i8} \cdot \omega_H =$$

$$1 \cdot 0,11763 + 1 \cdot 0,14664 + 2 \cdot 0,07250 + 1/4 \cdot 0,32938 + 1/3 \cdot 0,2337 +$$

$$3 \cdot 0,04739 + 4 \cdot 0,03239 + 6 \cdot 0,02070 = 0,965336.$$

Porinio lyginimo matricos  $A$  antros eilutės  $B$  kriterijaus svarbos lygiai  $a_{ij}$  taip pat dauginami iš kriterijų svorio koeficientų  $\omega_A, \omega_B, \omega_C, \dots, \omega_H$  ir gaunama sandaugų suma 1,20466. Šių ir visų kitų matricos eilučių (kriterijų) sandaugų sumos pateiktos 3.3 lentelėje.

**3.3 lentelė.** Didžiausios tikrinės reikšmės  $\lambda_{\max}$  skaičiavimo rezultatai

**Table 3.3.** Calculation results of the largest eigenvalue  $\lambda_{\max}$

Kriterijus (LGVPS) $i = 1, 2, \dots, n$	$\omega_i$	$\sum_{j=1}^8 a_{ij} \omega_j$	$\frac{\sum_{j=1}^8 a_{ij} \omega_j}{\omega_i}$
A	0,11763	0,96534	8,20667
B	0,14664	1,20466	8,21514
C	0,07250	0,59986	8,27359
D	0,32938	2,76644	8,39890
E	0,23337	1,93113	8,27508
F	0,04739	0,38796	8,18594
G	0,03239	0,26633	8,22218
H	0,02070	0,17351	8,38361
Suma	1,00000	8,29523	66,16111

Surandamas 3.3 lentelės paskutinio stulpelio reikšmių  $\lambda_{\max(i)}$  aritmetinis vidurkis, kuris yra lygus porinio lyginimo matricos didžiausiai tikrinei reikšmei (angl. *largest eigenvalue*):

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \omega_j}{\omega_i} = \frac{1}{8} (8,20667 + 8,21514 + \dots + 8,38361) = \frac{66,16111}{8} = 8,27014$$

Apskaičiuojamas porinio lyginimo matricos suderinamumo indeksas (pagal 3.8 formulę):

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{8,27014 - 8}{8 - 1} = 0,03859.$$

Pabaigoje apskaičiuojamas pagal (3.10) formulę aštuntojo eksperto (E8) užpildytos porinio lyginimo matricos suderinamumo santykis  $C.R.$ , kai objektas sudarytas iš 8 kriterijų (atsitiktinis indeksas  $R.I. = 1,41$ , 3.2 lentelė):

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = \frac{0,03859}{1,41} = 0,02737.$$

Šis rezultatas rodo, kad matrica yra suderinta, nes apskaičiuotas  $C.R. = 0,02737$  daug mažesnis už 0,1, kas rodo, kad ją pildydamas ekspertas paisė tranzityvumo sąlygos, buvo nuoseklus poromis lygindamas kriterijus, nepateikė prieštaringų jų vertinimų. Dėl to iš šio eksperto užpildytos porinio lyginimo matricos apskaičiuotieji kriterijų svorio koeficientai  $\omega_i$  yra patikimi ir rodo kiekvieno iš aštuonių kriterijų santykinę svarbą.

Visų 22 ekspertų užpildytų ir suderintų ( $C.R. \leq 0,1$ ) porinio lyginimo matricų apskaičiuotieji tikriniai vektoriai  $\omega_i$ , atitinkantys objekto kriterijų (inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių) normalizuotuosius svorius  $\omega_i$ , ir suderinamumo santykiai  $C.R.$  pateikti 3.5 lentelėje. Iš jos matome, kad kiekvieno eksperto kriterijams suteikti svoriai skiriasi, o  $C.R.$  yra mažesni už 0,1, kas rodo, kad kiekviena matrica yra suderinta.

**3.4 lentelė.** Aštuntojo eksperto užpildyta porinio lyginimo matrica ir jos skaičiavimo svarbiausi rezultatai

**Table 3.4.** Pairwise comparison matrix and the most important results of its calculation, completed by the eight expert

		LGVSP, $j = 1, 2, \dots, n$								Tikrinis vektorius $\omega_i$	Ran- gas $r_i$
		A	B	C	D	E	F	G	H		
LGVSP, $i = 1, 2, \dots, n$	A	1	1	2	1/4	1/3	3	4	6	0,11763	4
	B	1	1	3	1/3	1/2	4	5	7	0,14664	3
	C	1/2	1/3	1	1/5	1/4	2	3	5	0,07250	5
	D	4	3	5	1	2	6	7	9	0,32938	1
	E	3	2	4	1/2	1	5	6	8	0,23337	2
	F	1/3	1/4	1/2	1/6	1/5	1	2	3	0,04739	6
	G	1/4	1/5	1/3	1/7	1/6	1/2	1	2	0,03239	7
	H	1/6	1/7	1/5	1/9	1/8	1/3	1/2	1	0,02070	8

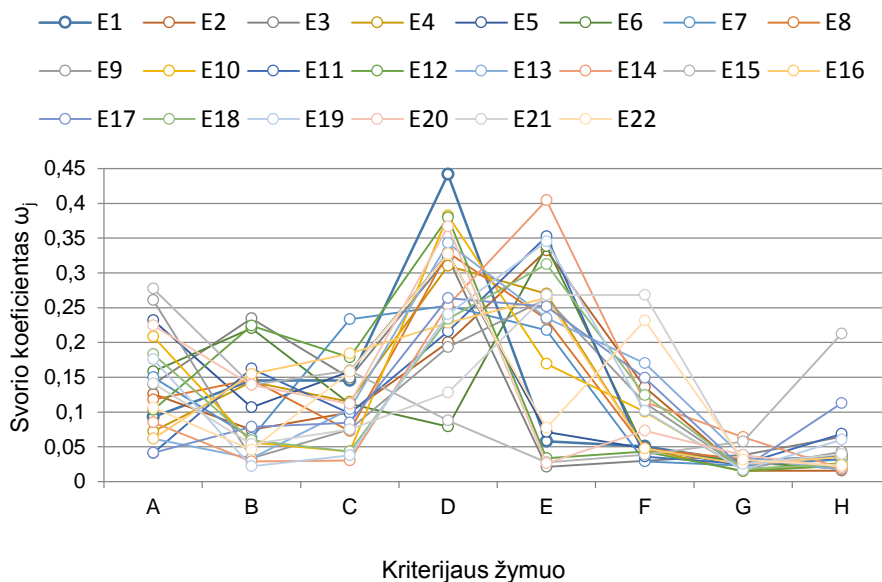
$$\lambda_{\max} = 8,27014, C.I. = 0,03859, C.R. = 0,02737$$

**3.5 lentelė.** Inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui turinčių veiksmų (kriterijų) analitiniu hierarchijos proceso metodu nustatyti svorio koeficientai  $\omega_j$  ir suderinamumo santykiai  $C.R.$

**Table 3.5.** Weight coefficients  $\omega_j$  and compatibility relationships  $C.R.$  determined by AHP method of traffic calming and speed control measures influence on criteria that decrease accident

Ekspertas	Kriterijaus žymuo										
	A	B	C	D	E	F	G	H	C.R.		
E1	0,09278	0,1452	0,1452	0,44184	0,05815	0,05069	0,02906	0,03708	0,02296		
E2	0,12623	0,07456	0,09943	0,20018	0,33225	0,13564	0,01585	0,01585	0,06295		
E3	0,13981	0,23468	0,14903	0,32212	0,02126	0,03014	0,03844	0,06452	0,07274		
E4	0,07238	0,14359	0,11455	0,31005	0,27026	0,04755	0,0148	0,02681	0,09785		
E5	0,23192	0,10655	0,15851	0,32799	0,07125	0,04789	0,02315	0,03273	0,02915		
E6	0,15807	0,22027	0,11199	0,07919	0,33816	0,04593	0,02791	0,01849	0,06174		
E7	0,14993	0,0624	0,23323	0,25319	0,21748	0,02897	0,02322	0,03159	0,02907		
E8	0,11763	0,14664	0,0725	0,32938	0,23337	0,04739	0,03239	0,0207	0,02737		
E9	0,26105	0,0337	0,07498	0,1932	0,26265	0,1132	0,01851	0,04272	0,07312		
E10	0,20858	0,05634	0,04322	0,38238	0,16937	0,10029	0,01702	0,02278	0,09354		
E11	0,04077	0,16253	0,09821	0,21597	0,35253	0,03606	0,0255	0,06843	0,03495		
E12	0,10288	0,22395	0,17866	0,37974	0,03342	0,04334	0,01517	0,02284	0,09396		
E13	0,0619	0,03361	0,10379	0,34266	0,23526	0,17029	0,03536	0,01713	0,0768		
E14	0,085	0,02912	0,03019	0,25357	0,40457	0,11456	0,06419	0,0188	0,07045		
E15	0,27757	0,13906	0,15953	0,08769	0,02756	0,03853	0,05732	0,21274	0,02041		
E16	0,06152	0,15473	0,184	0,22821	0,26393	0,04758	0,02469	0,03534	0,04319		
E17	0,04145	0,07848	0,08447	0,26347	0,25173	0,14892	0,01884	0,11264	0,03059		
E18	0,18329	0,0596	0,04334	0,23377	0,31222	0,1242	0,01846	0,02512	0,08804		
E19	0,17565	0,02228	0,03773	0,24073	0,34481	0,10157	0,01671	0,06051	0,09461		
E20	0,22473	0,13901	0,11168	0,36647	0,02632	0,073	0,03808	0,02069	0,06917		
E21	0,14142	0,05389	0,07499	0,12778	0,26833	0,26833	0,02555	0,0397	0,01953		
E22	0,10624	0,04539	0,15805	0,32702	0,07747	0,23125	0,03149	0,02308	0,03671		

Priemonių svorius patogiau analizuoti pateiktus laužtėmis (3.2 pav.). Matome, kad ekspertai skirtingai vertina inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių reikšmingumą avaringumo sumažėjimui keliuose. Jei jų nuomonės visiškai sutaptų, būtų tik vienas kriterijaus svorį rodantis taškas be jų sklaidos (išsibarstymo). Akivaizdu, kuo  $i$ -ojo kriterijaus svorio koeficiento  $\omega_i$  mažesnė sklaida, tuo ekspertų nuomonės yra vienodesnės.



**3.2 pav.** Dvidešimt dviejų ekspertų nustatyti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių reikšmingumai avaringumo sumažėjimui

**Fig. 3.2.** Significances of traffic calming and speed control measures to reduction in accident, determined by twenty-two experts

Ar ekspertų grupės nuomonių aritmetinius vidurkius galima panaudoti, kaip objekto kriterijų reikšmingumo galutinius įverčius, leidžia nustatyti rangų koreliacijos metodas (Kendall 1970; Kendall, Gibbons 1990).

### 3.1.3. Ekspertų grupės nuomonių suderinamumo teorinis tyrimas taikant rangų koreliacijos metodą

Tyrime pateiktos ekspertų grupės nuomonės taip pat turi būti neprieštaringos. Nuomonių neprieštaringumas nustatomas apskaičiavus Kendalo konkordancijos koeficientą  $W$ . Kendalo dispersinio konkordancijos koeficiento idėja susijusi su kiekvieno  $j$ -ojo kriterijaus (inžinerinės greičio reguliavimo ir kontrolės priemonės) rangų  $r_j$

suma, gauta sudėjus visų  $i$ -ųjų ekspertų vertinamojo kriterijaus rangus (čia  $e$  – ekspertų skaičius,  $i = 1, 2, \dots, e$ ;  $k$  – kriterijų skaičius,  $j = 1, 2, \dots, k$ ; šie indeksai neatitinka 3.1.1 ir 3.1.2 poskyriuose naudotus indeksus, kai kriterijai buvo žymėti  $i = 1, 2, \dots, n$ ):

$$r_j = \sum_{i=1}^e r_{ij}, \quad (3.11)$$

tiksliu – su dydžių (rangų)  $r_j$  nuokrypiu nuo bendro vidurkio  $\bar{r}$  kvadratų sumos  $S$  (dispersijos analogas):

$$S = \sum_{j=1}^k (r_j - \bar{r})^2. \quad (3.12)$$

Kaip matome, prieš tai gautus kriterijų reikšmingumus svorio koeficientais  $\omega_i$  būtina pakeisti rangais, t. y. vietomis pagal svarbą.

Bendras vidurkis  $\bar{r}$  skaičiuojamas pagal formulę:

$$\bar{r} = \frac{\sum_{j=1}^k r_j}{k} = \frac{\sum_{i=1}^e \sum_{j=1}^k r_{ij}}{k}. \quad (3.13)$$

Jei ekspertai rangais vienodai įvertintų visus objekto kriterijus (veiksnius, rodiklius), tai svarbiausias kriterijus turėtų rangą vieneta ir šio kriterijaus visų ekspertų suteiktų rangų suma būtų lygi  $e$ , antras pagal svarbą kriterijus turėtų rangą du ir šio kriterijaus suteiktų rangų suma būtų lygi  $2e$  ir t. t., o paskutinis pagal svarbą kriterijus turėtų rangą  $k$  ir šio kriterijaus suteiktų rangų suma būtų lygi  $ke$ . Šis atvejis pagal ekspertų nuomonių suderinamumą būtų idealus. Visų  $e$  ekspertų  $k$  kriterijų rangų suma

$$\sum_{j=1}^k r_j = \frac{1}{2} ek(k+1) \quad (3.14)$$

ir bendras vidurkis

$$\bar{r} = \frac{1}{2} e(k+1) \quad (3.15)$$

priklauso tik nuo kriterijų skaičiaus  $k$  ir ekspertų skaičiaus  $e$  ir visiškai nepriklauso nuo konkrečių ekspertų kriterijų vertinimų (svorio koeficientų reikšmių).

Naudojant žinomų  $k$  natūraliųjų skaičių ir jų kvadratų sumų reikšmes, vidurkių  $r_j$  nuokrypių nuo bendro vidurkio  $\bar{r}$  kvadratų suma, apskaičiuota pagal 3.12 formulę, šiuo idealiu atveju yra lygi (Podvezko 2005):

$$S_{\max} = \frac{e^2 k(k^2 - 1)}{12}. \quad (3.16)$$

Vidutinį rangą  $\bar{r}_j$  ir konkordancijos koeficientą  $W$  patogu skaičiuoti matrica, kurios struktūra pateikta 3.6 lentelėje. Jos stulpeliuose pateikti kriterijai ( $j = 1, 2, \dots, k$ ), eilutėse – ekspertai ( $i = 1, 2, \dots, e$ ), o langeliuose – ekspertų kriterijams tiesiogiai suteikti rangai arba rangai, nustatyti iš prieš tai taikyto AHP metodo tikrinio vektoriaus, t. y. normalizuotų svorio koeficientų  $\omega_i$  (Sivilevičius 2011b).

**3.6 lentelė.** Ekspertų suteiktų objekto kriterijų rangai ir iš jų apskaičiuotos reikšmės, reikalingos Kendalo rangų koreliacijos koeficientui  $W$  nustatyti

**Table 3.6.** Object criteria ranks and its values provided by experts, necessary for determination of Kendal ranks correlation coefficient  $W$

Eksperto kodas		Kriterijaus žymuo ( $j = 1, 2, \dots, k$ )				
		$X_1 (A)$	$X_2 (B)$	$X_3 (C)$	...	$X_k (Z)$
$i = 1, 2, \dots, e$	E1	$r_{11}$	$r_{12}$	$r_{13}$	...	$r_{1k}$
	E2	$r_{21}$	$r_{22}$	$r_{23}$	...	$r_{2k}$
	E3	$r_{31}$	$r_{32}$	$r_{33}$		$r_{3k}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots \vdots \vdots$	$\vdots$
	Ee	$r_{e1}$	$r_{e2}$	$r_{e3}$	...	$r_{ek}$
Rangų suma $\sum_{i=1}^e r_{ij}$		$r_1$	$r_2$	$r_3$	...	$r_k$
Vidutinis rangas $\bar{r}_j = \frac{\sum_{i=1}^e r_{ij}}{e}$		$\bar{r}_1$	$\bar{r}_2$	$\bar{r}_3$	...	$\bar{r}_k$
$\sum_{i=1}^e r_{ij} - \frac{1}{2} e(k+1)$						
$\left[ \sum_{i=1}^e r_{ij} - \frac{1}{2} e(k+1) \right]^2$						

Vidutinis kiekvieno  $j$ -ojo kriterijaus rangas  $\bar{r}_j$  gaunamas jam suteiktą rangų sumą  $\sum_{i=1}^e r_{ij}$  dalinant iš ekspertų skaičiaus  $e$ :

$$\bar{r}_j = \frac{\sum_{i=1}^e r_{ij}}{e}; \quad (3.17)$$

2ia  $r_{ij}$  –  $i$ -ojo eksperto  $j$ -ajam kriterijui suteiktas rangas,  $e$  – ekspertų skaičius.

Jei  $S$  yra reali kvadratų suma, apskaičiuota pagal 3.12 formulę, tai Kendalo konkordancijos koeficientas, kai nėra susietų rangų, nustatomas gautos (apskaičiuotos)  $S$  reikšmės ir didžiausios jos reikšmės  $S_{\max}$  santykiu (Kendall 1970, Kendall, Gibbons 1990):

$$W = \frac{12S}{e^2 k (k^2 - 1)} = \frac{12S}{e^2 (k^3 - k)}. \quad (3.18)$$

Tiriamąjį objekto kiekvieno kriterijaus rangų  $r_{ij}$  sumos  $\sum_{i=1}^e r_{ij}$  nuokrypių nuo rangų vidurkio  $\bar{r}$  (vidutinio rango) kvadratų sumą patogiu skaičiuoti formule:

$$S = \sum_{j=1}^k \left[ \sum_{i=1}^e r_{ij} - \frac{1}{2} e (k+1) \right]^2; \quad (3.19)$$

čia  $k$  – kriterijų (veiksnių, rodiklių) skaičius ( $j = 1, 2, \dots, k$ );  $e$  – ekspertų (stebėtojų, respondentų) skaičius ( $i = 1, 2, \dots, e$ ).

Atsitiktinio dydžio  $S$  reikšmė skaičiuojama 3.6 lentelėje sudėjus paskutinės eilutės visų  $k$  kriterijų nustatytas reikšmes.

Apskaičiuotoji visų tiriamojo objekto kriterijų (inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių) rangų nuokrypių nuo vidurkio kvadratų suma  $S$  parodo, ar ekspertų vertinimai labai skiriasi nuo bendrojo vidutinio vertinimo. Todėl ekspertizės patikimumas gali būti vertinamas ekspertų nuomonių konkordancijos koeficientu  $W$ , rodančiu individualių nuomonių panašumo laipsnį. Konkordancijos koeficiento  $W$  reikšmių aibė yra  $[0, 1]$ , t. y.  $0 \leq W \leq 1$ . Kuo didesnis  $W$ , tuo stipresnė kintamųjų koreliacija. Kai visi rangai sutampa, tai  $W = 1$ . Jei ekspertų nuomonės suderintos, konkordancijos koeficiento  $W$  reikšmė artima vienetui, jei ekspertų vertinimai labai skiriasi, tai  $W$  reikšmė artima nuliui. Kai kurie tyrėjai ir mokslininkai teigia, kai  $W \geq 0,5$  apytiksliai galima manyti, kad ekspertų nuomonės yra suderintos. Tačiau toks teiginys nėra moksliškai pagrįstas.

Konkordancijos koeficientas  $W$  gali būti taikomas praktikoje ekspertų nuomonių suderinamumui vertinti, jei nustatyta jo ribinė reikšmė, rodanti, kada ekspertų vertinimus dar galima laikyti suderintais. Kendall (1970) įrodė, kad jei tiriamojo objekto kriterijų skaičius  $k > 7$ , tai konkordancijos koeficiento reikšmingumas gali būti nustatytas naudojant  $\chi^2$  (chi-kvadrat) skirstinį (Pirsono kriterijų). Apskaičiuojamas atsitiktinis dydis

$$\chi^2 = e(k-1)W = \frac{12S}{ek(k+1)}, \quad (3.20)$$



kuris pasiskirstęs pagal  $\chi^2$  skirstinį esant  $\nu = k - 1$  laisvės laipsniui. Pagal pasirinktą reikšmingumo lygmenį  $\alpha$  (praktikoje  $\alpha$  reikšmė imama 0,05 arba dar griežtesnė 0,01) iš  $\chi^2$  skirstinio lentelės (Montgomery, Runger 1999) esant  $\nu = k - 1$  laisvės laipsniui nustatoma kritinė reikšmė  $\chi_{kr}^2 = \chi_{\nu, \alpha}^2$ . Jei apskaičiuota pagal 3.20

formulę  $\chi^2$  reikšmė yra didesnė už  $\chi_{\nu, \alpha}^2$ , tai rodo, kad visų ekspertų vertinimai yra suderinti. Todėl kriterijų svorių arba rangų vidurkiai, rodantys apibendrintą ekspertų grupės nuomonę, pagrįstai gali būti imami kaip problemos sprendinys (sprendimo rezultatas).

Ekspertų grupės nuomonių suderinamumą taip pat galima nustatyti palyginant apskaičiuotąjį konkordancijos koeficientą  $W$  su mažiausia konkordancijos koeficiento  $W_{\min}$  reikšme, kuriai esant dar galima teigti, kad visų  $e$  ekspertų nuomonės apie iš  $k$  lyginamų kriterijų sudaryto tiriamojo objekto kokybę (įtaką, svarbą), esant nustatytam (reikiamam) reikšmingumo lygmeniui  $\alpha$  ir laisvės laipsniui  $\nu = k - 1$  laisvės, yra suderintos. Mažiausias konkordancijos koeficientas  $W_{\min}$  skaičiuojamas taikant 3.21 formulę (Sivilevičius 2011b):

$$W_{\min} = \frac{\chi_{\nu, \alpha}^2}{e(k-1)}; \quad (3.21)$$

čia  $\chi^2$  – kritinė Pirsono (chi-kvadrat) statistika, kurios reikšmė randama matematinės statistikos lentelėje (Čekanavičius, Murauskas 2003; Gonestas, Strielčiūnas 2003; Кремен 2003).

Jei  $W > W_{\min}$ , tai pagrįstai galima teigti, kad ekspertų grupės nuomonės yra suderintos.

#### **3.1.4. Greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių prioriteto avaringumo sumažėjimui ekspertų grupės nuomonių praktinis tyrimas**

Taikant 3.1.3 poskyryje pateiktą rangų koreliacijos metodą, 3.5 lentelės 22 ekspertų AHP metodu apskaičiuotų kriterijų (inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių) tikriniais vektoriams, vadinamiems santykinės svarbos arba svorio koeficientams  $\omega_i$  suteikiami rangai  $r_i$  (3.7 lentelė), kurie panaudojami ekspertų nuomonių suderinamumui tirti.

**3.7 lentelė.** Iš analitiniu hierarchijos proceso metodu apskaičiuotų normalizuotų svorio koeficientų  $\omega_i$  gauti leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui rangai  $r_i$

**Table 3.7.** Received ranks  $r_i$  of permissible speeding problem resolution measures influence to decrease of accidents, from the normalized weight coefficients  $\omega_i$ , calculated under AHP method

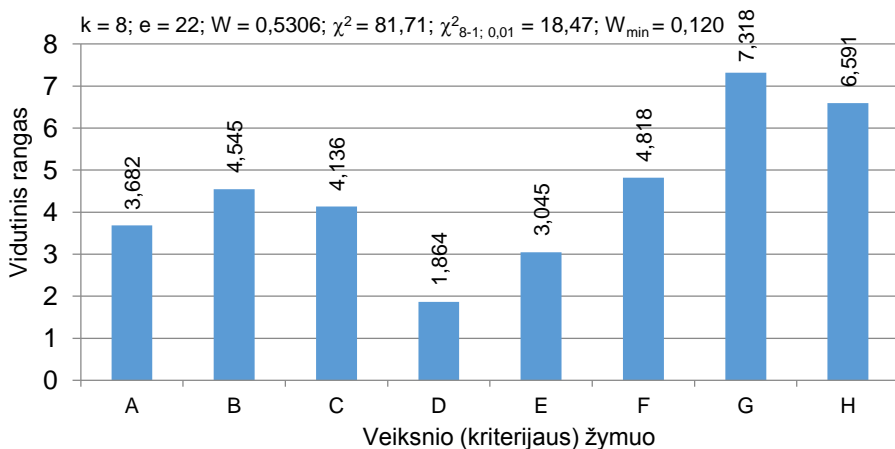
Ekspertas $i = 1, 2, \dots, e$	Kriterijaus (LGVPS) $j = 1, 2, \dots, k$								Rangų suma
	A	B	C	D	E	F	G	H	
E1	4	3	2	1	5	6	8	7	36
E2	4	6	5	2	1	3	7	8	36
E3	4	2	3	1	8	7	6	5	36
E4	5	3	4	1	2	6	8	7	36
E5	2	4	3	1	5	6	8	7	36
E6	3	2	4	5	1	6	7	8	36
E7	4	5	2	1	3	7	8	6	36
E8	4	3	5	1	2	6	7	8	36
E9	2	7	5	3	1	4	8	6	36
E10	2	5	6	1	3	4	8	7	36
E11	6	3	4	2	1	7	8	5	36
E12	4	2	3	1	6	5	8	7	36
E13	5	7	4	1	2	3	6	8	36
E14	4	7	6	2	1	3	5	8	36
E15	1	4	3	5	8	7	6	2	36
E16	5	4	3	2	1	6	8	7	36
E17	7	6	5	1	2	3	8	4	36
E18	3	5	6	2	1	4	8	7	36
E19	3	7	6	2	1	4	8	5	36
E20	2	3	4	1	7	5	6	8	36
E21	3	6	5	4	1	2	8	7	36
E22	4	6	3	1	5	2	7	8	36
Rangų suma	81	100	91	41	67	106	161	145	792
Vidutinis rangas	3,68	4,55	4,14	1,86	3,05	4,82	7,32	6,59	36
Skirtumas	-18	1	-8	-58	-32	7	62	46	0
Skirtumo kvadratas	324	1	64	3364	1024	49	3844	2116	10786

Susumavus kiekvieno  $j$ -ojo kriterijaus ( $j = 1, 2, \dots, k$ ) visų  $i$ -ųjų ekspertų ( $i = 1, 2, \dots, e$ ) rangus  $r_{ij}$ , pagal 3.11 formulę apskaičiuotas kriterijaus vidutinis rangas  $\bar{r}_j$  (3.3 pav.), kuris kinta nuo 1,86 D kriterijaus (žiedinė sankryža) iki 7,32 G kriterijaus (informacinė momentinio greičio švieslentė). Pagal 3.15 formulę apskaičiuojamas bendras rangų vidurkis  $\bar{r}$ , priklausantis tik nuo kriterijų ir ekspertų skaičiaus, todėl jis yra pastovus dydis:

$$\bar{r} = \frac{1}{2} e(k+1) = \frac{1}{2} 22(8+1) = 99.$$

Iš kiekvieno kriterijaus rangų sumos  $r_j$  atėmus pastovų dydį  $\bar{r}$ , gaunamas skirtumas, pateiktas 3.7 lentelės priešpaskutinėje eilutėje. Pavyzdžiui, A kriterijaus šis skirtumas  $81 - 99 = -18$ , B kriterijaus  $100 - 99 = 1$ . Skirtumą  $r_j - \bar{r}$  pakėlus kvadratu apskaičiuojamos kiekvieno kriterijaus paskutinės eilutės reikšmės, kurias sudėjus pagal (3.12) ir (3.19) formules gaunamas  $S$  dydis.

$$S = \sum_{j=1}^k (r_j - \bar{r})^2 = 324 + 1 + 64 + 3364 + 1024 + 49 + 3844 + 2116 = 10786.$$



**3.3 pav.** Leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui ekspertų nustatyti veiksnių (kriterijų) vidutiniai rangai ir apskaičiuotų rodiklių reikšmės

**Fig. 3.3.** Criteria average ranks and values of calculated indicators, determined by experts, of permissible speeding problem resolution measures impact on decrease of accidents

Apskaičiavus skirtumų kvadratų sumą  $S$ , galima pagal 3.18 formulę skaičiuoti konkordancijos koeficientą:

$$W = \frac{12S}{e^2(k^3 - k)} = \frac{12 \cdot 10786}{22^2(8^3 - 8)} = 0,5306.$$

Apskaičiuotoji  $W$  reikšmė 0,531 nors ir yra didesnė už 0,5, bet tai neleidžia pagrįstai teigti, kad visų 22 ekspertų nuomonės apie inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių veiksmingumą avaringumo sumažėjimui keliuose yra suderintos. Apskaičiuojamas pagal 3.20 formulę atsitiktinis dydis  $\chi^2$ , kuris palyginamas su Pirsono (chi-kvadrat) skirstinio statistika  $\chi^2_{v,\alpha}$ :

$$\chi^2 = e(k-1)W = \frac{12S}{ek(k+1)} = 22(8-1)0,5306 = \frac{12 \cdot 10786}{22 \cdot 8(8+1)} = 81,71.$$

Iš tyrimo gauta  $\chi^2$  reikšmė 81,71 yra daug didesnė už kritinę  $\chi^2_{v,\alpha}$  reikšmę 18,47, kai  $v = 8 - 1 = 7$  ir  $\alpha = 0,01$ . Todėl galima pagrįstai teigti, kad visų 22 ekspertų nuomonės apie priemonių veiksmingumą yra suderintos (neprieštaringos). Šis teiginys patikslinamas pagal 3.21 formulę apskaičiavus mažiausią konkordancijos koeficiento reikšmę

$$W_{\min} = \frac{\chi^2_{v,\alpha}}{e(k-1)} = \frac{18,47}{22(8-1)} = 0,120.$$

Iš ekspertinių tyrimų nustatyta  $W = 0,531$  yra daug didesnė už  $W_{\min} = 0,120$ , todėl vertinant ekspertų grupės nuomonių suderinamumą galima teigti, kad jos yra neprieštaringos. Šis rezultatas leidžia 22 ekspertų AHP metu nustatytų kiekvieno  $j$ -ojo kriterijaus svorio koeficientų vidurkį  $\bar{w}_j$  (3.8 lentelė) naudoti kaip kiekvienos leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonės įtakos avaringumo keliuose sumažėjimui santykinę įvertį.

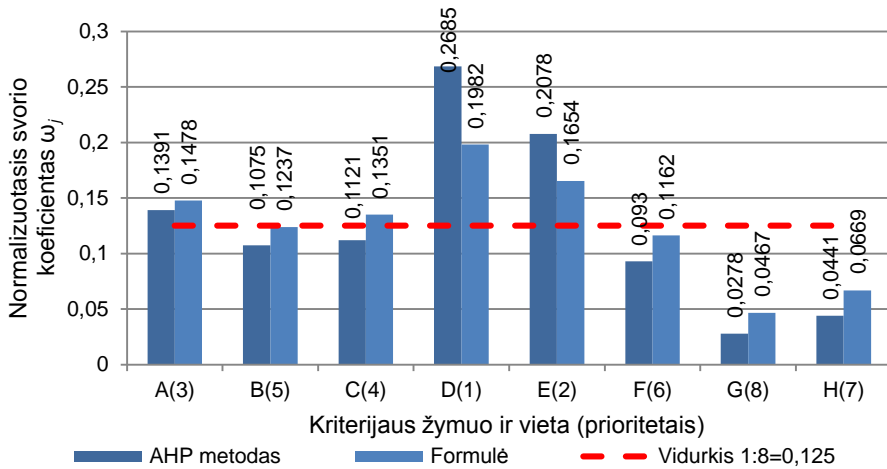
**3.8 lentelė.** Leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui turinčių veiksnų (kriterijų) ekspertų analitiniu hierarchijos proceso metodu nustatyti svorio koeficientai  $\omega_j$ , jų padėties ir sklaidos parametrai  
**Table 3.8.** Determined weight coefficients  $\omega_j$  by experts using AHP method of permissible speeding problem resolution measures influence to criteria decreasing accidents and parameters of its position and dispersion

Ekspertas	Kriterijaus žymuo								
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
E1	0,09278	0,1452	0,1452	0,44184	0,05815	0,05069	0,02906	0,03708	
E2	0,12623	0,07456	0,09943	0,20018	0,33225	0,13564	0,01585	0,01585	
E3	0,13981	0,23468	0,14903	0,32212	0,02126	0,03014	0,03844	0,06452	
E4	0,07238	0,14359	0,11455	0,31005	0,27026	0,04755	0,0148	0,02681	
E5	0,23192	0,10655	0,15851	0,32799	0,07125	0,04789	0,02315	0,03273	
E6	0,15807	0,22027	0,11199	0,07919	0,33816	0,04593	0,02791	0,01849	
E7	0,14993	0,0624	0,23323	0,25319	0,21748	0,02897	0,02322	0,03159	
E8	0,11763	0,14664	0,0725	0,32938	0,23337	0,04739	0,03239	0,0207	
E9	0,26105	0,0337	0,07498	0,1932	0,26265	0,1132	0,01851	0,04272	
E10	0,20858	0,05634	0,04322	0,38238	0,16937	0,10029	0,01702	0,02278	
E11	0,04077	0,16253	0,09821	0,21597	0,35253	0,03606	0,0255	0,06843	
E12	0,10288	0,22395	0,17866	0,37974	0,03342	0,04334	0,01517	0,02284	
E13	0,0619	0,03361	0,10379	0,34266	0,23526	0,17029	0,03536	0,01713	

3.8 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7	8	9
E14	0,085	0,02912	0,03019	0,25357	0,40457	0,11456	0,06419	0,0188
E15	0,27757	0,13906	0,15953	0,08769	0,02756	0,03853	0,05732	0,21274
E16	0,06152	0,15473	0,184	0,22821	0,26393	0,04758	0,02469	0,03534
E17	0,04145	0,07848	0,08447	0,26347	0,25173	0,14892	0,01884	0,11264
E18	0,18329	0,0596	0,04334	0,23377	0,31222	0,1242	0,01846	0,02512
E19	0,17565	0,02228	0,03773	0,24073	0,34481	0,10157	0,01671	0,06051
E20	0,22473	0,13901	0,11168	0,36647	0,02632	0,073	0,03808	0,02069
E21	0,14142	0,05389	0,07499	0,12778	0,26833	0,26833	0,02555	0,0397
E22	0,10624	0,04539	0,15805	0,32702	0,07747	0,23125	0,03149	0,02308
Suma	3,0608	2,36558	2,46728	5,9066	4,57235	2,04532	0,61171	0,97029
Vidurkis $\bar{\omega}_j$	0,139127	0,107526	0,112149	0,268482	0,207834	0,092969	0,027805	0,044104
St. nuokr. $s_{oj}$	0,069802	0,066859	0,053663	0,095437	0,125187	0,066232	0,012974	0,044063
Var. koef. $V_{oj}$	50,2	62,2	47,8	35,5	60,2	71,2	46,7	99,9

Objekto 8 kriterijų (inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių) normalizuotųjų svorio koeficientų vidurkiai  $\bar{\omega}_j$ , nustatyti AHP metodu, pateikti 3.8 lentelės trečioje iš apačios eilutėje ir 3.4 pav., kito nuo 0,2685 (svarbiausio kriterijaus D – žiedinė sankryža) iki 0,0278 (mažiausiai svarbaus kriterijaus G – informacinė momentinio greičio švieslentė): skirtumas 0,2407.



**3.4 pav.** Skirtingais metodais nustatyti leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui normalizuotieji svorio koeficientai

**Fig. 3.4.** The normalized weight coefficients, determined by different methods, of permissible speeding problem resolution measures impact to decrease of accidents

Nežiūrint to, kad visų 22 ekspertų nuomonės yra suderintos, kiekvienam  $j$ -ajam kriterijui ekspertų suteikti svoriai  $\omega_{ij}$  skiriasi ir turi tam tikrą sklaidą, kuri nustatyta skaičiuojant svorio koeficiento standartinį nuokrypį

$$s_{\omega_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^e (\omega_{ij} - \bar{\omega}_j)^2}{e - 1}} \quad (3.22)$$

ir procentinį variacijos koeficientą

$$V_{\omega_j} = \frac{s_{\omega_j}}{\bar{\omega}_j} 100 ; \quad (3.23)$$

čia  $\omega_{ij}$  –  $i$ -ojo eksperto  $j$ -ajam kriterijui suteiktas taikant AHP metodą svorio koeficientas;  $\bar{\omega}_j$  –  $j$ -ojo kriterijaus visų ekspertų suteiktų svorio koeficientų vidurkis;  $e$  – ekspertų skaičius ( $i = 1, 2, \dots, e$ ).

Apskaičiuotas standartinis nuokrypis  $s_{\omega j}$  pateiktas 3.8 lentelės priešpaskutinėje eilutėje: jis didžiausias (0,1252) vidutinio greičio matavimo sistemos (E kriterijus), dėl kurios reikšmingumo labiausiai nesutaria ekspertai, o mažiausias – (0,0130) informacinės momentinio greičio švieslentės (G kriterijus). Apie 10 kartų skirtumas rodo, kad, vertindami vieną kriterijų (inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių) svarbą, ekspertai yra vieningesni negu vertindami kitų kriterijų svarbą (3.2 pav.). 3.8 lentelėje ir 3.2 pav. pateikti duomenys rodo, kad labiausiai nuo kitų skiriasi eksperto E15 nuomonė. „Išsišokusių“ svorio koeficiento  $\omega_{ij}$  reikšmių yra ir kitų ekspertų vertinimuose.

Suprantama, kad didesnę  $j$ -ojo kriterijaus vidutinį svorio koeficientą  $\bar{\omega}_j$  atitinka didesnis svorio koeficientų  $\omega_{ij}$  standartinis nuokrypis  $s_{\omega j}$ . Todėl kriterijų santykinė sklaida buvo vertinama ir procentiniu variacijos koeficientu  $V_{\omega j}$  (3.8 lentelės paskutinė eilutė). Didžiausias variacijos koeficientas  $V_{\omega j} = 99,9\%$  apskaičiuotas skersinių struktūrinio ženklavimo triukšmo juostų (H kriterijus), o mažiausias –  $V_{\omega j} = 35,5\%$  žiedinės sankryžos (D kriterijus). Kai variacijos koeficientas didesnis kaip 33 %, tai pagal matematinės statistikos dėsnius (Закс 1976) galima tikėtis, kad ekspertų nuomonių įverčiai (svorio koeficientai) pasiskirstę ne pagal normalųjį skirstinį. Kaip teigia Lothar Sachs (Закс 1976) iš normalinės generalinės visumos paimtos ne labai mažos imties dydis  $V$  (variacijos koeficientas) turi būti ne didesnis kaip 33 %. Realią prasmę turi kitimo (variacijos) matas  $V_{\omega j}$ , neviršijantis 50 %. Visais kitais atvejais sklaidai vertinti naudojamas pagrindinis (standartinis) nuokrypis (Митропольский 1971). Jei požymio (objekto), turinčio tik teigiamas reikšmes, variacijos koeficientas didelis (pavyzdžiui, didesnis 100 %), tai jis rodo šio požymio reikšmių nevienalytiškumą (Кремеп 2003).

Objekto kriterijų (rodiklių) obeiptyvius svorius taip pat galima nustatyti taikant entropiją (Завадскас 1987; Sun 2016; Chen, Hung 2016; Zavadskas, Padvezko 2016). Kriterijų subjektyvius svorius taip pat galima nustatyti taikant naują rangų vidurkio pakeitimo į svorį metodą (average rank transformation into weight – ARTIW) (Sivilevičius 2011b):

$$\tilde{\omega}_j = \frac{(k+1) - \bar{r}_j}{\sum_{j=1}^k \bar{r}_j}; \quad (3.24)$$

čia  $k$  – kriterijų skaičius ( $j = 1, 2, \dots, k$ );  $\bar{r}_j$  –  $j$ -ojo kriterijaus vidutinis rangas

(3.7 lentelė ir 3.4 pav.);  $\sum_{j=1}^k \bar{r}_j$  – visų tiriamojo objekto kriterijų (inžinerinių greičio



reguliavimo ir kontrolės priemonių) rangų suma (kai objektas sudarytas iš 8 kriterijų, tai ši suma lygi 36).

Pagal 3.24 formulę apskaičiuotos  $\tilde{\omega}_j$  reikšmės pateiktos 3.4 pav. stulpelinėje diagramoje ir jos palygintos su AHP metodu nustatytais reikšmėmis  $\bar{\omega}_j$ . Kiekvieno kriterijaus svorio koeficientas  $\bar{\omega}_j$  (kairysis stulpelis) ir  $\tilde{\omega}_j$  (dešinysis stulpelis) yra panašūs (mažai skiriasi) ir rodo vienodą prioriteto eilę:  $D \succ E \succ A \succ C \succ B \succ F \succ H \succ G$ . Abiem metodais nustatyti kriterijų svorio koeficientai rodo, kad AHP metodas yra „jautresnis“ už 3.24 formulės rezultatą. AHP metodu apskaičiuoto didžiausio  $\bar{\omega}_{j\max}$  ir mažiausio  $\bar{\omega}_{j\min}$  skirtumas yra 0,2407, o pagal 3.24 formulę  $\tilde{\omega}_{j\max}$  ir  $\tilde{\omega}_{j\min}$  skirtumas yra 0,1515, t. y. apie 37 % mažesnis.

### 3.1.5. Leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonių grupių svorio koeficientų skaičiavimas pagal atvirkštinės hierarchijos modelį

Apskaičiavus AHP metodu 22 ekspertų nustatytus visų 8 kriterijų globalinius svorio koeficientus  $\bar{\omega}_j$  nustatomi leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonių, suskirstytų į dvi grupes (3.1 pav. trečiasis hierarchijos lygmuo), kriterijų grupių svoriai  $\omega'_g$ . Toks uždavinys nėra labai paprastas, nes susumavus kiekvienos kriterijų grupės globalinius svorio koeficientus  $\bar{\omega}_j$ , ta grupė būtų svarbesnė, kurią sudarytų daugiau kriterijų (visų kriterijų  $\bar{\omega}_j$  yra didesni už nulį). Norint eliminuoti kriterijų skaičiaus grupėje įtaką, kriterijų grupės svarbai (reikšmingumui) nustatyti atliekami skaičiavimai (3.9 lentelė) pagal 3.25–3.27 formules.

Normalizuotieji kriterijų svorio koeficientai kriterijų grupėje  $\omega_g$  skaičiuojami taip:

$$\omega_g = \frac{\bar{\omega}_j}{\sum_{j=1}^c \bar{\omega}_j}; \quad (3.25)$$

čia  $\bar{\omega}_j$  –  $j$ -ojo kriterijaus globalinis svorio koeficientas objekto kriterijų grupėje ( $c$  – kriterijų skaičius objekto kriterijų grupėje,  $j = 1, 2, \dots, c$ );  $\sum_{g=1}^c \omega_g = 1,0000$ .

Kriterijų grupės, sudarytos iš  $c$  kriterijų, svorio koeficientų vidurkis lygus:

$$\bar{\omega}_g = \frac{\sum_{j=1}^c \bar{\omega}_j}{c}, \quad (3.26)$$

Kriterijų grupės svorio koeficientų vidurkį  $\bar{\omega}_g$ , apskaičiuotą pagal 3.26 formulę, padalinus iš objekto visų kriterijų grupių svorio koeficientų sumos, gaunamas kiekvienos kriterijų grupės normalizuotas svoris:

$$\bar{\omega}'_g = \frac{\sum_{j=1}^c \bar{\omega}_j / c}{\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^c \bar{\omega}_j / c}, \quad (3.27)$$

čia  $c$  – kriterijų skaičius objekto kriterijų grupėje ( $g = 1, 2, \dots, c$ );  $G$  – padalinto (suskirstyto į grupes) objekto kriterijų grupių skaičius ( $g = 1, 2, \dots, G$ ).

Toks atvirkštinės hierarchijos modelio sprendimo metodas yra neįprastas, tačiau leidžia nustatyti į kriterijų grupes sudalinto (suskirstyto) objekto kiekvienos kriterijų grupės normalizuotus svorio koeficientus  $\bar{\omega}'_g$ , nepriklausančius nuo grupės didumo  $c$ .

Pavyzdžiui, A kriterijaus  $\bar{\omega}_j = 0,1391$ , o inžinerinių greičio reguliavimo priemonių visos grupės  $\sum_{j=1}^c \bar{\omega}_j = \omega_g = 0,6714$ . Pagal 3.25 formulę gauname  $\omega_g = 0,1391 \div 0,6714 = 0,2072$ . Kriterijaus B globalinis koeficientas  $\bar{\omega}_j = 0,1075$ , todėl jo normalizuotas svorio koeficientas inžinerinių greičio reguliavimo priemonių grupėje yra  $\omega_g = 0,1075 \div 0,6714 = 0,1601$ . Analogiškai apskaičiuojami ir kitų kriterijų svorio koeficientai grupėje  $\omega_g$ . Inžinerinių greičio reguliavimo priemonių grupės penkių ( $c = 5$ ) kriterijų svorių  $\omega_g$  suma lygi 1, taip pat 1 yra lygi ir trijų ( $c = 3$ ) inžinerinių greičio kontrolės priemonių kriterijų grupės svorių  $\omega_g$  suma.

**3.9 lentelė.** Leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui jų veikimo atkarpoje globalinių svorių, lokaliųjų svorių ir grupių svorių skaičiavimo rezultatai  
**Table 3.9.** Global, local and group weights calculation results of permissible speeding problem resolution measures influence to decrease of accidents in its operation section

Objekto kriterijus	Globalinis kriterijus svorio koeficientas $\bar{\omega}_j$	Globalinis kriterijus prioritetas $P_j$	Kriterijų grupės pavadinimas ir skaičius	Kriterijų grupės sudarantys kriterijai	Globalinis svorio koeficientas $\bar{\omega}_j$ kriterijų grupėje	Kriterijų grupės globalinių svorių koeficientų suma $\sum_{j=1}^c \bar{\omega}_j$	Normalizuotieji kriterijų svorio koeficientai grupėje $\omega_g$	Kriterijų grupės svorių suma $\sum_{g=1}^c \omega_g$	Kriterijų grupės svorio koeficientų vidurkis $\bar{\omega}_g = \frac{\sum_{j=1}^c \bar{\omega}_j}{c}$
A	0,1391	3	Inžinerinės greičio reguliavimo priemonės $c = 5$	A	0,1391	0,6714	0,2072	1,0000	0,6714/5= 0,1343
B	0,1075	5		B	0,1075		0,1601		
C	0,1121	4		C	0,1121		0,1670		
D	0,2685	1		D	0,2685		0,4000		
E	0,2078	2		H	0,0441		0,0657		
F	0,0930	6	Inžinerinės greičio kontrolės priemonės $c = 3$	E	0,2078	0,3286	0,6324	1,0000	0,3286/3= 0,1095
G	0,0278	8		F	0,0930		0,2830		
H	0,0441	7		G	0,0278		0,0846		
Suma	1,0000	–	–	–	–	1,0000	2,0000	2,0000	0,2438

Kiekvienos iš dviejų kriterijų grupės svorio koeficientų vidurkis  $\bar{\omega}_g$ , apskaičiuotas pagal 3.26 formulę, rodo normalizuotą kriterijų grupės reikšmingumą avaringumo sumažėjimui keliuose. Normalizavus šiuos svorio koeficientus (greičio reguliavimo priemonių grupės  $\bar{\omega}_g = 0,1343$  ir greičio kontrolės priemonių grupės  $\bar{\omega}_g = 0,1095$ ), gaunamas siekiamo tikslo rezultatas.

Inžinerinių greičio reguliavimo priemonių kriterijų grupės (kriterijai A + B + C + D + H) normalizuotas svorio koeficientas  $\bar{\omega}'_g = 0,1343 : 0,2438 = 0,5509$ , t. y. sudaro apie 55 %.

Inžinerinių greičio kontrolės priemonių kriterijų grupės (kriterijai E + F + G) normalizuotas svorio koeficientas  $\bar{\omega}'_g = 0,1095 : 0,2438 = 0,4491$ , t. y. sudaro apie 45 %.

## 3.2. Vidutinio greičio eksperimentinis tyrimas kelyje A11 Šiauliai–Palanga

Prieš eksperimentinį vidutinio greičio tyrimą išanalizuoti A11 Šiauliai–Palanga kelyje 2011–2014 m. įvykę įskaitiniai eismo įvykiai, jų sunkumas bei rūšys (C priedas). Taip pat įvertintas A11 kelio VMPEI tolygumas.

### 3.2.1. Tyrimo objektas ir metodika

Po detalios eismo įvykių bei VMPEI analizės A11 kelyje tyrimui parinkti 4 ruožai, kuriuose skirtingas leistinas greitis:

- I ruože – 50 km/h (3.5 pav.);
- II ruože – 70 km/h (3.6 pav.);
- III ruože – 70-90-70-90-70 km/h (3.7 pav.);
- IV ruože – 90 km/h (3.8 pav.).



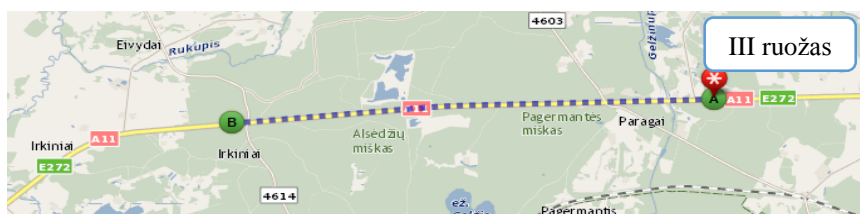
**3.5 pav.** Vidutinio greičio tyrimui parinktas 2,02 km ilgio ruožas Kartenos gyvenvietėje

**Fig. 3.5.** 2,02 km length section in Kartena settlement selected for the research of average speed



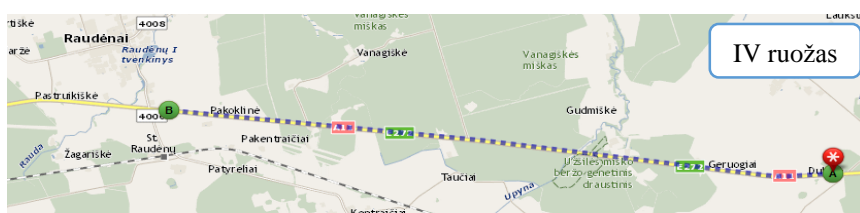
**3.6 pav.** Vidutinio greičio tyrimui parinktas 1,47 km ilgio ruožas

**Fig. 3.6.** 1,47 km length section selected for the research of average speed



**3.7 pav.** Vidutinio greičio tyrimui parinktas 5,14 km ilgio ruožas

**Fig. 3.7.** 5,14 km length section selected for the research of average speed



**3.8 pav.** Vidutinio greičio tyrimui parinktas 8,57 km ilgio ruožas

**Fig. 3.8.** 8,57 km length section selected for the research of average speed

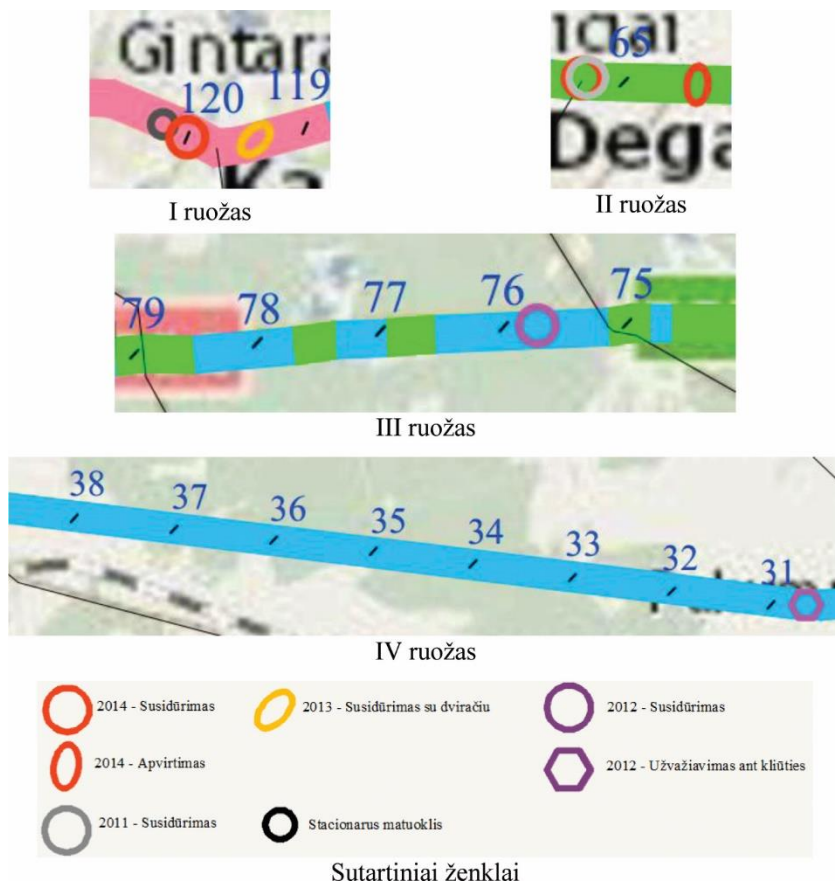
### 3.10 lentelė. Duomenys apie tyrimui atrinktus ruožus

**Table 3.10.** Data on the selected sections for the research

Ruožo nr.	Leistinas greitis, km/h	Ruožo ilgis, km	Bendras VMPEI, aut./parą	Krovininis VMPEI, aut./parą
I	50	2,02	3389	412
II	70	1,47	3607	690
III	70-90-70-90-70	5,14	4219	669
IV	90	8,57	3062	412

2011–2014 m. laikotarpiu tyrimui atrinktuose ruožuose įvyko 7 įskaitiniai eismo įvykiai (3.9 pav.). Nagrinėjamu laikotarpiu daugiausiai įvyko susidūrimų,

kurie dažniausiai įvyksta dėl viršijamo greičio. 2014 m. atrinktuose ruožuose VMPEI kito nuo 3062 iki 4219 aut./parą (3.10 lentelė).



**3.9 pav.** Įskaitinių eismo įvykių rūšių pasiskirstymas tiriamuose kelio ruožuose 2011–2014 m.

**Fig. 3.9.** Distribution of recorded traffic accidents types on road sections in 2011–2014

Vidutinio greičio tyrimas atliktas į dvi transporto priemones įmontavus po *SpeedCAM* kamerą, kuri tiriamo ruožo pradžioje fiksavo į ruožą įvažiuojančių transporto priemonių valstybinius numerius, datą (*m., mėn., d.*) ir laiką (*val., min., s.*), o kita kamera fiksavo iš tiriamo ruožo išvažiuojančių transporto priemonių duomenis (3.10 pav.). Palyginus abiejų kamerų informaciją apie tiriamame ruože užfiksuotas transporto priemones apskaičiuotas kiekvienos transporto priemonės įvažiavusios į tiriamą ruožą ir tyrimo metu išvažiavusios iš ruožo vidutinis greitis.

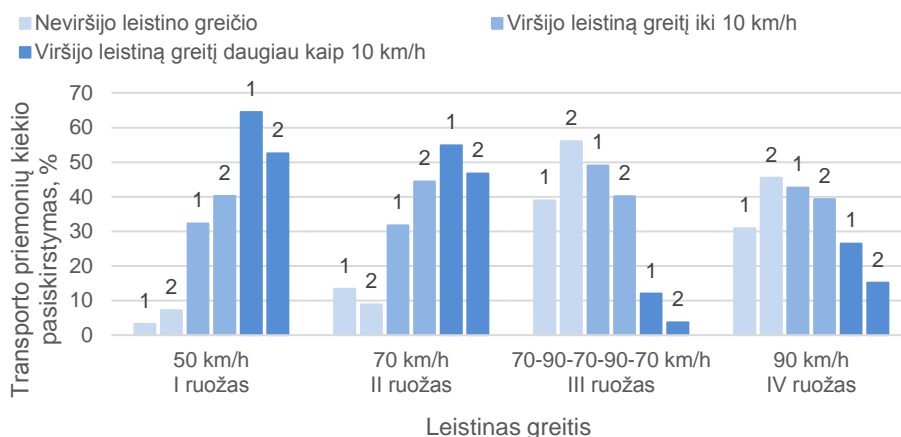


**3.10 pav.** Vidutinio greičio tyrimo įranga  
**Fig. 3.10.** Equipment of average speed research

A11 kelyje vidutinis greitis 4 atrinktuose ruožuose buvo tiriamas 2015 m. liepos mėn. – darbo dienomis šviesiu paros metu – fiksuojant transporto priemones, judančias kryptimi Šiauliai–Palanga.

### 3.2.2. Tyrimo rezultatai

Vidutinio greičio eksperimentinis tyrimas A11 kelio tiriamuose ruožuose atliktas po du kartus (3.11 pav.).

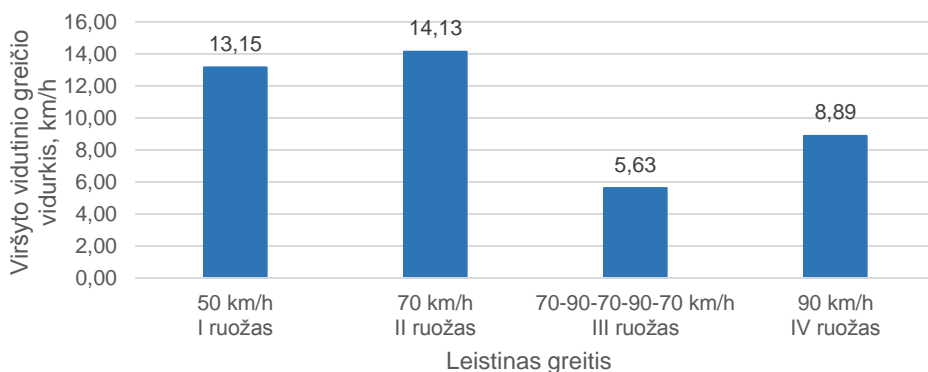


**3.11 pav.** Greičio viršijimo atvejų pasiskirstymas tiriamuose ruožuose  
 1 ir 2 matavimų metu

**Fig. 3.11.** Distribution of over-speeding cases in the researched sections  
 during 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> measurements

Nustatyta, kad daugiau kaip 10 km/h vidutinis greitis dažniausiai viršijamas ruožuose, kuriuose mažiausias leistinas greitis (50 km/h ir 70 km/h). Rečiausiai vidutinis greitis viršijamas kelio ruože, kuriame leistinas greitis kinta 4 kartus: 70–90–70–90–70 km/h. Taip pat retai vidutinis greitis viršijamas kelio ruože, kuriame didelis leistinas greitis, t. y. 90 km/h. Ši tendencija matoma ir iš 1, ir iš 2 matavimų gautų rezultatų.

1 matavimo metu visuose keturiuose tiriamuose ruožuose TP greičio duomenys fiksuoti esant vienodoms, geroms oro sąlygoms (saulėtos, karštos darbo dienos). Todėl vertinti 1 matavimo metu užfiksuotų viršijimo atvejų greičio duomenys. Nustatyta, kad ruožuose, kuriuose mažas leistinas greitis (50 km/h ir 70 km/h) vidutinis greitis vidutiniškai viršijamas apie 13–14 km/h (3.12 pav.).



**3.12 pav.** Viršyto vidutinio greičio vidurkiai tiriamuose ruožuose 1 matavimo metu  
**Fig. 3.12.** Averages of over-speeded average speed in the researched sections during 1<sup>st</sup> measurement

### Statistinė analizė

Vidutinio greičio eksperimentinio tyrimo metu užfiksuota 875 TP vidutiniai greičiai, iš jų 312 (35,66 %) TP 1 matavimo metu ir 563 (64,34 %) TP 2 matavimo metu. TP skaičiaus pasiskirstymas tarp ruožų pateikiamas 3.11 lentelėje. Apjungus abiejų matavimų duomenis matoma, kad daugiausia TP užfiksuota II ruože – 296, III ir IV ruožuose TP skaičius panašus, atitinkamai 207 ir 213, o I ruože surinkta mažiausiai duomenų – 159 TP. I ruože užfiksuotas vidutinis greitis  $60,83 \pm 9,14$  km/h, II ruože  $81,21 \pm 10,62$  km/h (3.11 lentelė). Kadangi I ruože leistinas greitis 50 km/h, o II ruože – 70 km/h, matoma, kad TP šiuose ruožuose leistiną greitį vidutiniškai viršija apie 10 km/h. Ši tendencija nenustatyta kituose dviejuose ruožuose, kuriuose leistinas greitis didesnis, t. y. 83 km/h ir 90 km/h.



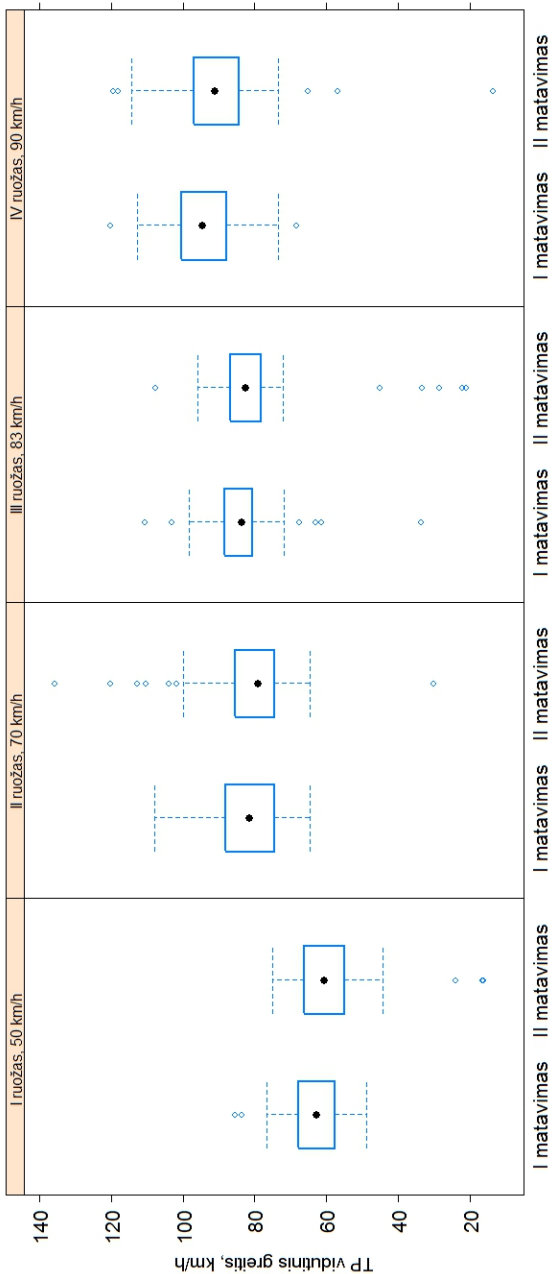
**3.11 lentelė.** Transporto priemonių vidutinio greičio skaitinės charakteristikos**Table 3.11.** Numerical characteristics of vehicles average speed

Skaitinės charakteristikos	I ruožas	II ruožas	III ruožas	IV ruožas	Visi ruožai
TP skaičius	159	296	207	213	875
Min	16,27	30,24	21,22	13,53	13,53
Pirmasis kvantilis Q1	56,16	74,54	79,08	86,12	72,38
Mediana	61,11	78,99	83,08	92,37	81,83
<b>Vidurkis</b>	<b>60,83</b>	<b>81,21</b>	<b>82,19</b>	<b>91,97</b>	<b>80,36</b>
Trečiasis kvantilis Q3	66,11	86,75	87,43	97,73	89,39
Max	85,55	135,70	110,60	120,00	135,70
Standartinis nuokrypis	9,14	10,62	11,23	10,79	14,65

Lyginant 1 ir 2 matavimo metu gautus duomenis, iš 3.12 lentelėje pateiktų TP vidutinio greičio skaitinių charakteristikų matome, kad visuose ruožuose 2 matavimo metu užfiksuoti vidutiniai greičiai šiek tiek mažesni nei 1 matavimo metu. Tokiems rezultatams galėjo turėti įtakos blogesnės oro sąlygos 2 matavimo metu. Tačiau nepaisant to, 2 matavimo metu gautas didesnis greičio išsibarstymas nei 1 matavimu (3.12 lentelė ir 3.13 pav.).

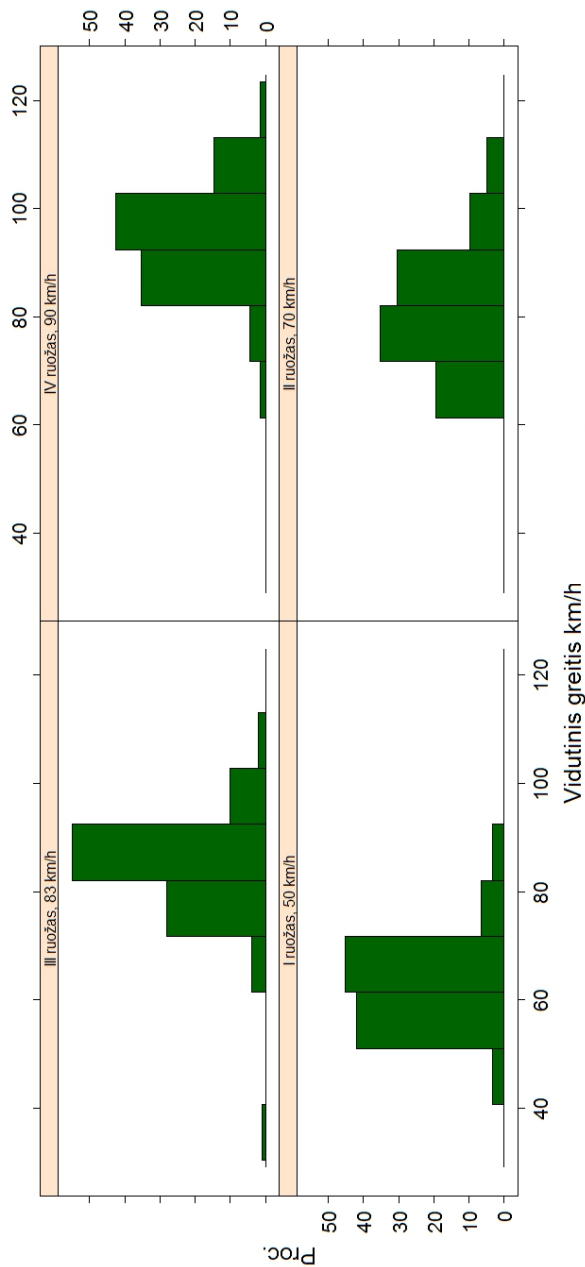
**3.12 lentelė.** 1 ir 2 matavimo metu gautos transporto priemonių vidutinio greičio skaitinės charakteristikos**Table 3.12.** Numerical characteristics of vehicles average speed received during 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> measurement

Skaitinės charakteristikos	I ruožas		II ruožas		III ruožas		IV ruožas		Visi ruožai	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Matavimo nr.	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
TP skaičius	62	97	82	214	100	107	68	145	312	563
Min	48,81	16,27	64,54	30,24	33,75	21,22	68,26	13,53	33,75	13,53
Pirmasis kvantilis Q1	57,83	55,09	74,54	74,54	80,53	78,24	88,28	84,49	71,93	72,49
Mediana	62,69	60,60	81,42	78,99	83,65	82,61	94,64	91,16	83,08	80,18
<b>Vidurkis</b>	<b>62,69</b>	<b>59,64</b>	<b>81,89</b>	<b>80,95</b>	<b>83,91</b>	<b>80,58</b>	<b>94,39</b>	<b>90,83</b>	<b>81,45</b>	<b>79,75</b>
Trečiasis kvantilis Q3	67,35	66,11	88,20	85,35	88,38	86,67	100,30	96,82	90,44	88,70
Max	85,55	74,97	108,00	135,70	110,60	107,60	120,00	119,40	120,00	135,70
Standartinis nuokrypis	7,35	9,97	10,19	10,79	9,07	12,76	9,15	11,34	13,81	15,07

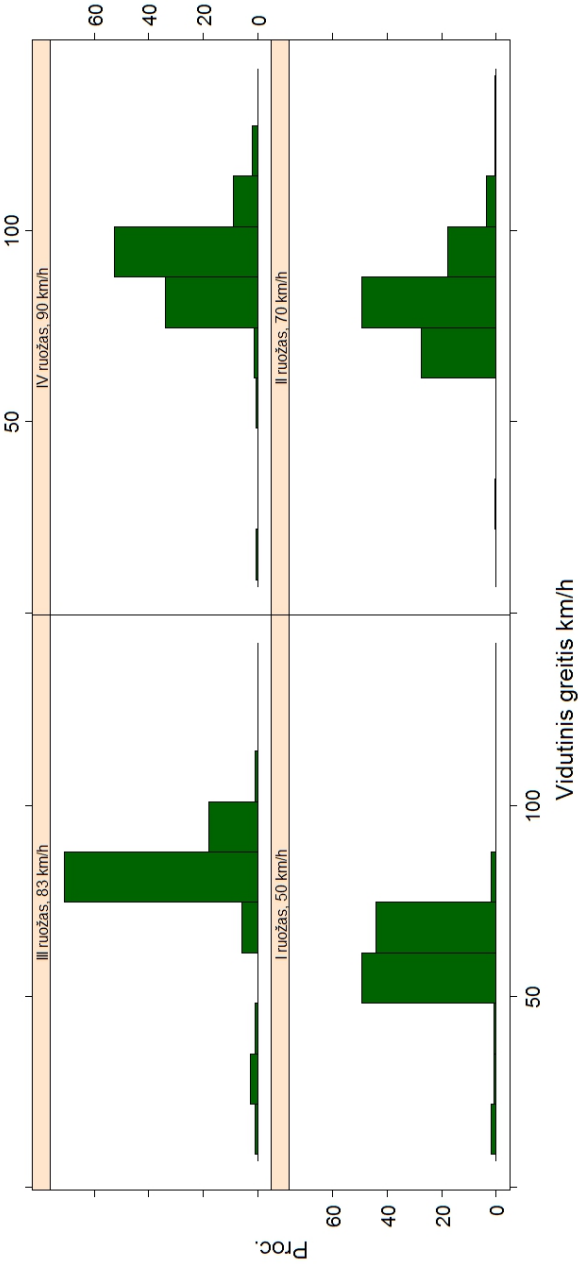


3.13 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis ruožuose 1 ir 2 matavimo metu

Fig. 3.13. Average speed of vehicles in sections during 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> measurement



**3.14 pav. 1 matavimo vidutinio greičio skirstiniai ruožuose**  
**Fig. 3.14. Average speed distributions in sections of 1<sup>st</sup> measurement**



**3.15 pav. 2 matavimo vidutinio greičio skirstiniai ruožuose**  
**Fig. 3.15. Average speed distributions in sections of 2<sup>nd</sup> measurement**

Naudodami Shapiro testą patikrinsime ar 1 ir 2 matavimo vidutinis greitis ruožuose pasiskirstęs pagal normalųjį skirstinį. Kaip matome iš 3.13 lentelės tik 1 matavimo IV ruože normaliojo skirstinio hipotezė nebuvo atmesta ( $p = 0,59$ ), visuose kituose ruožuose hipotezė apie vidutinio greičio normalųjį skirstinį yra atmetama.

### 3.13 lentelė. Normaliojo skirstinio hipotezės tikrinimas

**Table 3.13.** Hypothesis verification of the normal distribution

Matavimai	I ruožas	II ruožas	III ruožas	IV ruožas	Visi ruožai
1 matavimas	$p = 0,055$	$p = 0,033$	$p < 0,001$	$p = 0,59$	$p = 0,019$
2 matavimas	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
1 + 2 matavimai	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	

Kadangi normaliojo skirstinio hipotezė vidutiniam greičiui buvo atmesta, be t-testo naudosime ir neparametrinį Mann-Whitney U testą vidutinio greičio tarp dviejų matavimų skirtumams patikrinti. Abiejų testų rezultatai pateikti 3.14 lentelėje. Panaudojus Mann-Whitney U testą nustatyta, kad I ir II ruožuose nebuvo rasta statistiškai reikšmingų skirtumų tarp dviejų skirtingu metu atliktų matavimų (atitinkamai  $p = 0,122$  ir  $p = 0,367$ ), o III ir IV ruožo greitis tarp 1 ir 2 matavimų statistiškai reikšmingai skyrėsi (atitinkamai  $p = 0,027$  ir  $p = 0,009$ ). T-testo rezultatai atmeta hipotezę apie skirtumų tarp dviejų matavimų nebuvimą ir I ruože ( $p = 0,028$ ), t. y. galime teigti, kad I ruože TP greičiai, užfiksuoti 1 ir 2 matavimo metu, taip pat statistiškai reikšmingai skiriasi. Taigi, įvertinome, jog daugeliu atveju skirtumai tarp dviejų matavimų, atliktų skirtingu metu, yra statistiškai reikšmingi – 2 matavimo metu užfiksuoti vidutiniškai mažesni TP greičiai nei 1 matavimo metu. Tam galėjo turėti įtakos buvusios skirtingos oro sąlygos 1 ir 2 matavimo metu ar kiti nežinomi faktoriai, dėl to apjungti visų TP vidutinius greičius, atliktus 1 ir 2 matavimo metu, nėra pagrindo.

### 3.14 lentelė. Vidutinio greičio skirtumų tarp 1 ir 2 matavimų hipotezės tikrinimas

**Table 3.14.** Hypothesis verification of average speed differences between 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> measurements

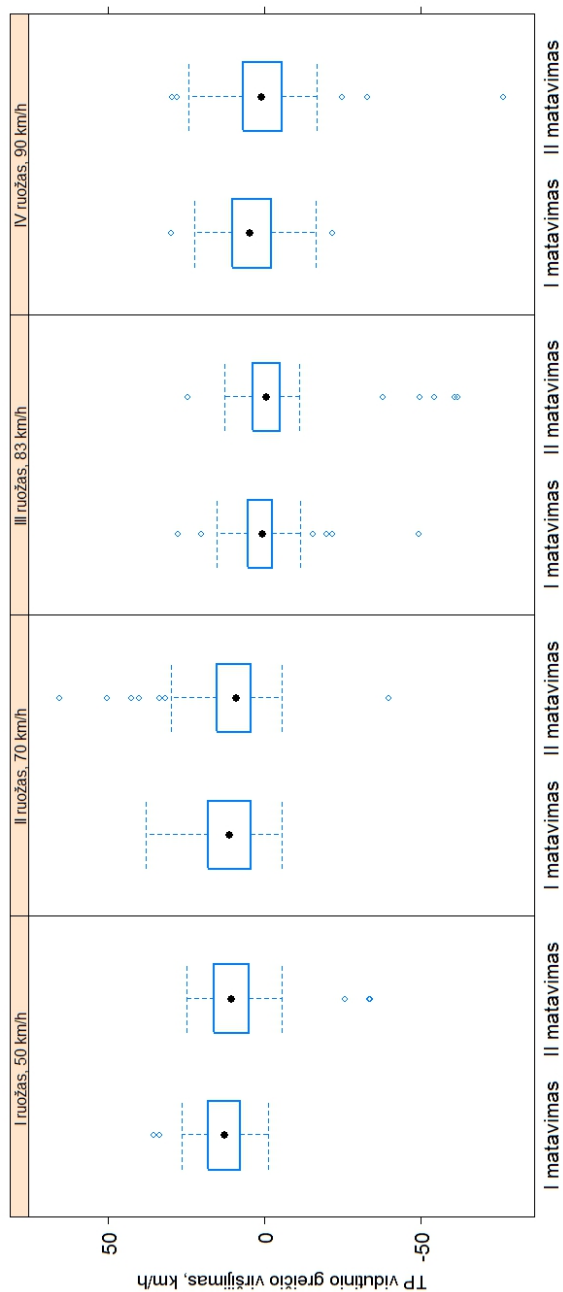
Testai	I ruožas	II ruožas	III ruožas	IV ruožas	Visi ruožai
Mann-Whitney U testas testo rezultatai	$p = 0,122$	$p = 0,367$	$p = 0,027$	$p = 0,009$	$p = 0,104$
t-testo rezultatai	$p = 0,028$	$p = 0,484$	$p = 0,031$	$p = 0,016$	$p = 0,093$

**3.15 lentelė.** Transporto priemonių vidutinio greičio viršijimo skaitinės charakteristikos**Table 3.15.** Numerical characteristics of vehicles average speed over-speeding

Skaitinės charakteristikos	I ruožas		II ruožas		III ruožas		IV ruožas		Visi ruožai
	1	2	1	2	1	2	1	2	
Matavimo nr.									
Min	-1,190	-33,73	-5,46	-39,76	-49,2500	-61,78	-21,74	-76,47	-49,250
Q1	7,828	5,090	4,54	4,54	-2,4700	-4,755	-1,718	-5,510	0,080
Mediana	12,690	10,600	11,42	8,99	0,6450	-0,390	4,640	1,160	6,130
<b>Vidurkis</b>	<b>12,690</b>	<b>9,638</b>	<b>11,89</b>	<b>10,95</b>	<b>0,9128</b>	<b>-2,415</b>	<b>4,391</b>	<b>0,830</b>	<b>6,897</b>
Q3	17,350	16,110	18,20	15,35	5,3770	3,670	10,250	6,820	12,690
Max	35,550	24,970	38,00	65,69	27,6000	24,580	30,050	29,450	38,000
Standartinis nuokrypis	7,349	9,97	10,188	10,798	9,068	12,763	9,152	11,343	10,393

**3.16 lentelė.** Vidutinių greičių viršijimų palyginimas tarp ruožų**Table 3.16.** Comparison of medium over-speeding between sections

Matavimai	Ruožai	I ir II	I ir III	I ir IV	II ir III	II ir IV	III ir IV
1 matavimo metu	Mann-Whitney U testo rezultatai	$p = 0,3746$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,016$
	t-testo rezultatai	$p = 0,5838$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,016$
2 matavimo metu	Mann-Whitney U testo rezultatai	$p = 0,7515$	$p < ,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,092$
	t-testo rezultatai	$p = 0,2973$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,038$



**3.16 pav.** Transporto priemonių vidutinis greičio viršijimas ruožuose  
**Fig. 3.16.** Over-speeding of vehicles

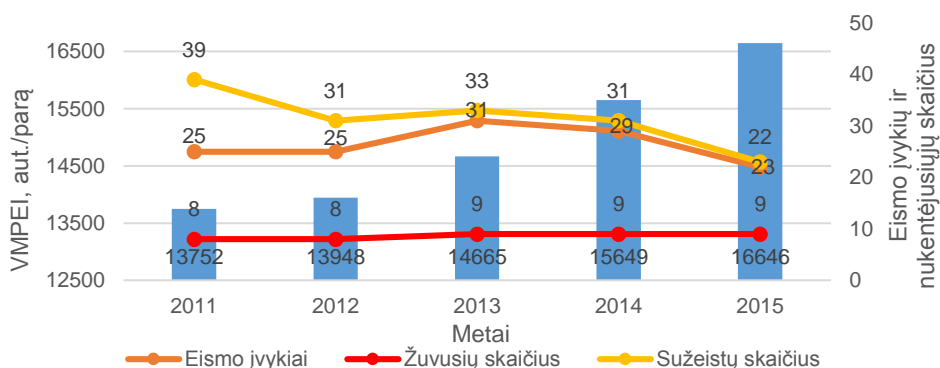
Iš 3.15 lentelės matoma, kad I ir II ruožuose 1 matavimo metu vidutinis greičio viršijimas buvo labai panašus, atitinkamai 12,69 km/h ir 11,89 km/h, kai tuo tarpu III ruože 1 matavimo metu vidutiniškai greitis buvo beveik neviršytas, o IV ruože vidutiniškai viršyta 4,39 km/h. 2 matavimo metu vidutinis greitis viršytas mažiau, t. y. I ir II ruožuose atitinkamai 9,64 km/h ir 10,95 km/h, IV ruože beveik nebuvo viršyta – vidutinis viršijimas 0,83 km/h, o III ruože važiuota vidutiniškai 2,42 km/h mažesniu greičiu nei leistinas.

3.16 lentelėje pateiktas vidutinių greičių viršijimo palyginimas tarp ruožų. I ir II ruožų vidutinis greičio viršijimas tiek 1 matavimo metu, tiek 2 statistiškai reikšmingai nesiskiria, kaip jau buvo minėta anksčiau, vidutiniškai šiuose ruožuose viršijama apie 10 km/h. Taip pat statistiškai reikšmingai nesiskiria vidutinis greičio viršijimas III ir IV ruožuose 2 matavimo metu ( $p = 0,092$ ), šiuose ruožuose buvo beveik nestebimas greičio viršijimas (3.15 lentelė). Visais kitais atvejais buvo stebimi statistiškai reikšmingi skirtumai vidutinio greičio viršijimo tarp ruožų (3.16 lentelė, 3.16 pav.).

### 3.3. Vidutinio greičio matavimo sistemos eksperimentinis tyrimas kelyje A5 Kaunas–Marijampolė–Suvalkai

#### 3.3.1. Tyrimo objektas ir metodika

Iš visų magistralinių kelių A5 Kaunas–Marijampolė–Suvalkai 2014 m. užfiksuota daugiausiai skaudžių eismo įvykių pasekmių – per metus žuvo 9 eismo dalyviai. 2011–2014 m. laikotarpiu A5 kelyje įvyko 110 eismo įvykių, kuriuose žuvo 34 eismo dalyviai (3.17 pav.).



**3.17 pav.** Eismo intensyvumo ir avaringumo kitimas A5 kelyje 2011–2015 m.

**Fig. 3.17.** Variation of traffic volume and accident on A5 road in 2011–2015



Siekiant A5 kelyje sumažinti avaringumą 2015 m. liepos 19 d. nuo 29,131 km iki 34,004 km – 4,873 km atkarpoje įdiegta VGMS su informaciniais kelio ženklais (3.18 pav.). Priemonės diegimo tikslas – įspėti vairuotojus apie pavojingą kelio atkarpą. Tikimasi, kad dėl VGMS daugiau vairuotojų laikysis leistino greičio, todėl sumažės eismo įvykių skaičius ir jų pasekmės. Chuliganiški vairuotojai susilauks bausmės pagal Lietuvos Respublikos administracinių teisės pažeidimų kodekso 124 str.

VGMS veikimo atkarpoje įvertinama, ar TP neviršijo nustatyto vidutinio greičio, stebėjimo kameromis fiksuojant TP įvažiavimo/išvažiavimo laikus bei valstybinį numerį A5 kelio 29,131 km (matuojamos atkarpos pradžioje) ir 34,004 km (matuojamos atkarpos pabaigoje). TP pravažiavus matuojamą kelio atkarpą greičiau nei nustatyta minimali laiko trukmė – pagal valstybinį numerį identifikuojamas TP savininkas.



**3.18 pav.** A5 kelio 4,873 km atkarpoje įrengta vidutinio greičio matavimo sistema

**Fig. 3.18.** Average speed enforcement system equipped on 4,873 km section of A5 road

VGMS veikimo atkarpoje leistinas greitis kinta 90–70–90 km/h (antrame skyriuje pateikto 2.9 pav. c variantas), todėl matuojamoje 4,873 km atkarpoje apskaičiuotas vidutinis leistinas greitis yra 88 km/h.

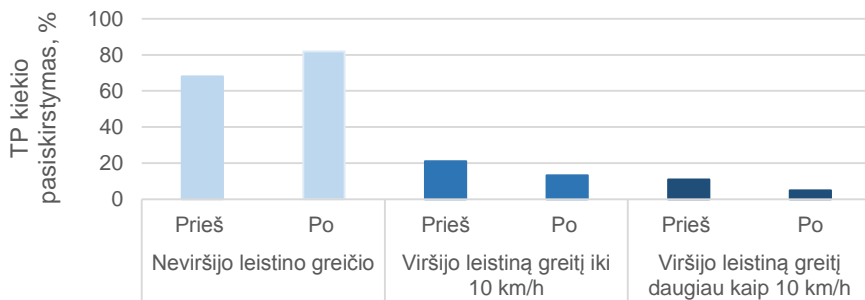
Pirmą VGMS eksperimentinio tyrimo dalį sudarė TP greičio duomenų analizė. Sistemos matavimo atkarpoje, A5 34,00 km, esančiame stacionariame periodiniame eismo intensyvumo apskaitos poste užfiksuoti TP greičio duomenys analizuoti vienodo ilgio laikotarpiais prieš–po VGMS įdiegimo. Palyginti greičio duomenys, užfiksuoti 2015 m. sausio–birželio mėn. prieš sistemos įdiegimą su

2015 m. rugpjūčio – 2016 m. sausio mėn. po sistemos įdiegimo. Ties eismo intensyvumo apskaitos postu leistinas greitis 90 km/h. Antrą eksperimentinio tyrimo dalį sudarė VGMS veikimo atkarpoje užfiksuotų vidutinio leistino 88 km/h greičio pažeidimų analizė. Šiai tyrimo daliai duomenys gauti iš Lietuvos kelių policijos tarnybos.

### 3.3.2. Tyrimo rezultatai

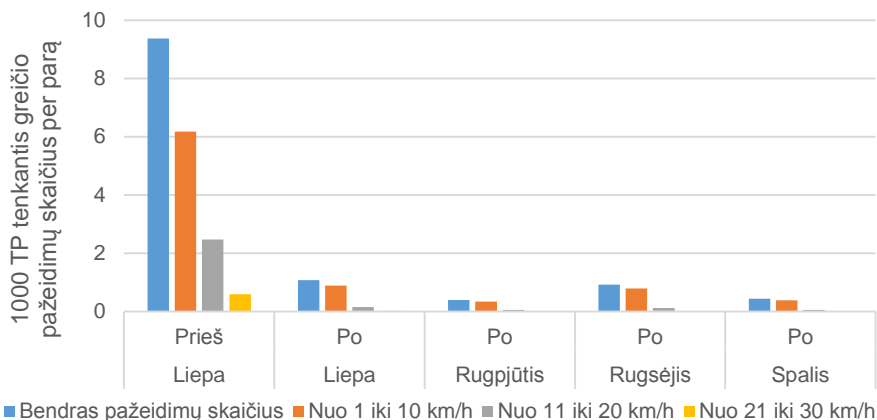
Palyginus TP greičio duomenis prieš–po VGMS įdiegimo, nustatyta, kad po sistemos įdiegimo sumažėjo tiek vidutinis TP greitis, tiek leistino greičio viršijimo atvejų. Vidutinis TP greitis sumažėjo 3,85 km/h. Prieš sistemos įdiegimą užfiksuotų 1 906 007 TP vidutinis greitis buvo 88,13 km/h, po sistemos įdiegimo užfiksuotų 1 983 880 TP vidutinis greitis buvo 84,29 km/h. Prieš VGMS įdiegimą leistiną 90 km/h greitį viršijo 31,93 % užfiksuotų TP, po sistemos įdiegimo – 18,16 % užfiksuotų TP. Daugiau kaip 10 km/h prieš sistemos įdiegimą leistiną greitį viršijo 10,96 %, po sistemos įdiegimo – tik 4,91 % (3.19 pav.). Taigi išanalizavus TP greičio duomenų pasiskirstymą prieš–po sistemos įdiegimo nustatyta, kad daugiau kaip 10 km/h leistiną greitį viršijančių TP sumažėjo 53,39 % (prieš įdiegimą viršijo 208 830 TP, po įdiegimo – 97 344 TP).

Įvertinus VGMS veikimo atkarpoje užfiksuotą vidutinio leistino 88 km/h greičio pažeidimų skaičių, nustatyta, kad po sistemos įdiegimo pažeidimų akivaizdžiai sumažėjo (3.20 pav.). Sistemos įrengimas labiausiai turėjo įtakos daugiau kaip 10 km/h greičio pažeidimų sumažėjimui.



**3.19 pav.** Leistino 90 km/h greičio viršijimo atvejų pasiskirstymas prieš ir po sistemos įdiegimo

**Fig. 3.19.** Permitted 90 km/h speeding distribution of cases before and after system installation



**3.20 pav.** Vidutinio leistino 88 km/h greičio pažeidimų skaičius prieš-po sistemos įdiegimo

**Fig. 3.20.** Violations number of permissible average 88 km/h speed before-after system installation

Po VGMS įdiegimo veikimo atkarpoje nagrinėjamu laikotarpiu neįvyko nei vienas įskaitinis eismo įvykis. Tačiau nagrinėjamas laikotarpis yra per trumpas, kad būtų galima nustatyti Lietuvos magistraliniame kelyje įdiegtos sistemos veiksmingumą, išreikštą poveikio koeficientu.

### 3.4. Tyrimų rezultatų apibendrinimas ir trečiojo skyriaus išvados

1. Panaudojus analitinį hierarchijos proceso ir rangų koreliacijos metodus 22 ekspertų nustatyti 8 inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui reikšmingumai, kurie išreikšti kriterijų skirtingo didumo normalizuotais svorio koeficientais  $\omega_j$ . Gauta tokia prioritetinga šių priemonių eilė nuo svarbiausio link mažiausiai svarbaus kriterijaus: žiedinė sankryža ( $\omega_D = 0,2685$ ), vidutinio greičio matavimo sistema ( $\omega_E = 0,2078$ ), iškili greičio mažinimo priemonė ( $\omega_A = 0,1391$ ), važiuojamosios dalies susiaurinimas arba iškreivinimas ( $\omega_C = 0,1121$ ), „miesto vartai“ ( $\omega_B = 0,1075$ ), momentinio greičio matuoklis ( $\omega_F = 0,0930$ ), skersinės struktūrinio ženklinimo triukšmo juostos ( $\omega_H = 0,0441$ ) ir informacinė momentinio greičio švieslentė ( $\omega_G = 0,0278$ ).
2. Kiekvieno eksperto nuomonės neprieštaringumą parodė suderinamumo santykis  $C.R.$ , kuris buvo mažesnis kaip 0,1, o ekspertų grupės nuomonių suderinamumas buvo įvertintas konkordancijos koeficientu  $W = 0,531$ ,

kuris didesnis už jo mažiausią reikšmę  $W_{\min} = 0,120$ , rodančią, kada su reikšmingumo lygmeniu  $\alpha = 0,01$  ir laisvės laipsniu  $\nu = 7$  dar galima pagrįstai teigti, kad ekspertų grupės nuomonės yra suderintos. Pirsono statistika  $\chi^2 = 81,71$  yra daug didesnė už kritinę  $\chi^2_{\nu,\alpha}$  reikšmę 18,47, kas patvirtina teiginį, kad visų 22 ekspertų inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui vertinimai yra suderinti ir iš esmės nesiskiria.

3. Ekspertų nuomone, inžinerinės greičio reguliavimo priemonės (kriterijai A + B + C + D + H) sudaro 55 % visų tirtų priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui, o inžinerinės greičio kontrolės priemonės (kriterijai E + F + G) sudaro 45 %.
4. Vidutinio greičio eksperimentiniu tyrimu A11 kelyje nustatyta, kad daugiau kaip 10 km/h vidutinis greitis dažniausiai viršijamas ruožuose, kuriuose mažiausias leistinas greitis: 50 km/h ir 70 km/h. Rečiausiai vidutinis greitis viršijamas kelio ruože, kuriame dažni greičio apribojimai (tiriamame ruože leistinas greitis kinta 4 kartus).
5. Atlikus greičio duomenų statistinę analizę nustatyta, kad tarp kelio ruožo, kuriame leistinas greitis 50 km/h (I ruožas) ir kelio ruožo, kuriame leistinas greitis 70 km/h (II ruožas), vidutinis greičio viršijimas statistiškai reikšmingai nesiskiria. Tarp šių ruožų (I ir II ruožai) ir kelio ruožo, kuriame dažni greičio apribojimai (III ruožas), vidutinis greičio viršijimas statistiškai reikšmingai skiriasi.
6. Įvertinus pirmuoju matavimu užfiksuotų viršijimo atvejų greičio duomenis nustatyta, kad kelio ruožuose, kuriuose mažas leistinas greitis (50 km/h ir 70 km/h), vidutinis greitis vidutiniškai viršijamas apie 13–14 km/h.
7. Vidutinio greičio matavimo sistemos eksperimentiniu tyrimu nustatyta, kad po sistemos įdiegimo daugiau kaip 10 km/h leistiną 90 km/h greitį viršijančių TP sumažėjo 53,39 %. Vidutinis TP greitis sumažėjo 3,85 km/h.
8. Vidutinio greičio matavimo sistemos įrengimas 4,873 km kelio atkarpoje labiausiai turėjo įtakos daugiau kaip 10 km/h vidutinio leistino 88 km/h greičio pažeidimų sumažėjimui.

---

## **Vidutinio greičio matavimo modelių pagrįstos sistemos taikymas Lietuvos automobilių keliuose**

Skyriuje pateikti vidutinio greičio matavimo sistemos įrengimui parinkti Lietuvos valstybinės reikšmės magistralinių ir krašto kelių ruožai bei sistemos ekonominio įvertinimo rezultatai. Atsižvelgiant į trečiame skyriuje gautus eksperimentinių tyrimų rezultatus, pateiktos rekomendacijos vidutinio greičio matavimo sistemos taikymui.

Skyriaus tematika paskelbtas 1 mokslinis straipsnis (Čygaitė *et al.* 2014).

### **4.1. Vidutinio greičio matavimo sistemos strategijos įgyvendinimo variantai**

Pagal 2 skyriuje aprašytus magistralinių ir krašto kelių ruožuose VGMS veiksmingumo eismo saugumui nustatymo modelius (2.13 pav. ir 2.14 pav.) parinkti potencialūs sistemos įrengimui Lietuvos automobilių kelių ruožai (D, E priedai). Šiuose kelių ruožuose Kelių tinklo saugumo vertinimo programa Tarva LT suprognozuoti eismo įvykių ir eismo įvykių su žuvusiais skaičiai, kurie rodo, kiek

eismo įvykių/eismo įvykių su žuvusiais įvyks per metus, jeigu nebus įgyvendinamos jokios priemonės. Nustatant prognozuojamų eismo įvykių/eismo įvykių su žuvusiais skaičiaus pokytį įdiegus VGMS, programoje Tarva LT įvesti italų mokslininkų Montella *et al.* (2012) nustatyti VGMS poveikio eismo saugumui koeficientai: eismo įvykiams 0,69 ir eismo įvykiams su žuvusiais 0,44. Pagal prognozuojamų eismo įvykių su žuvusiais skaičiaus pokytį po sistemos įdiegimo, kelių ruožai išdėstyti prioriteto mažėjimo tvarka (D, E priedai).

Atsižvelgiant į tai, kad Kelių tinklo saugumo lygių nustatymo tvarkos apraše (2011 m.) nurodoma, kad prioritetiniai avaringi kelio ruožai turi sudaryti ne mažiau kaip 10 % avaringiausių ruožų, nustatant potencialius VGMS tinkamus kelių ruožus, buvo vadovautasi tuo pačiu principu. Iš 290 homogeninių magistralinių kelių ruožų VGMS įrengimui atrinkti 29 potencialūs kelių ruožai (4.1 pav.). Iš 763 homogeninių krašto kelių ruožų VGMS įrengimui atrinkti 76 potencialūs kelių ruožai (4.1 pav.).

Dėl eismo įvykių patiriami ekonominiai nuostoliai. Automobilių kelių investicijų vadove (2015) nurodoma Lietuvos keliuose įvykusio vieno eismo įvykio su žuvusiais materialinė žala valstybei 596 899 eurai. Vieno eismo įvykio su sužeistais materialinė žala valstybei 54 201 euras.

VGMS įrangos kaina su įrengimu būtų apie 15 000 eurų. Sistemos priežiūros kaina būtų apie 200 eurų per mėnesį. Priežiūra metams kainuotų 2 400 eurų (LAKD 2016).

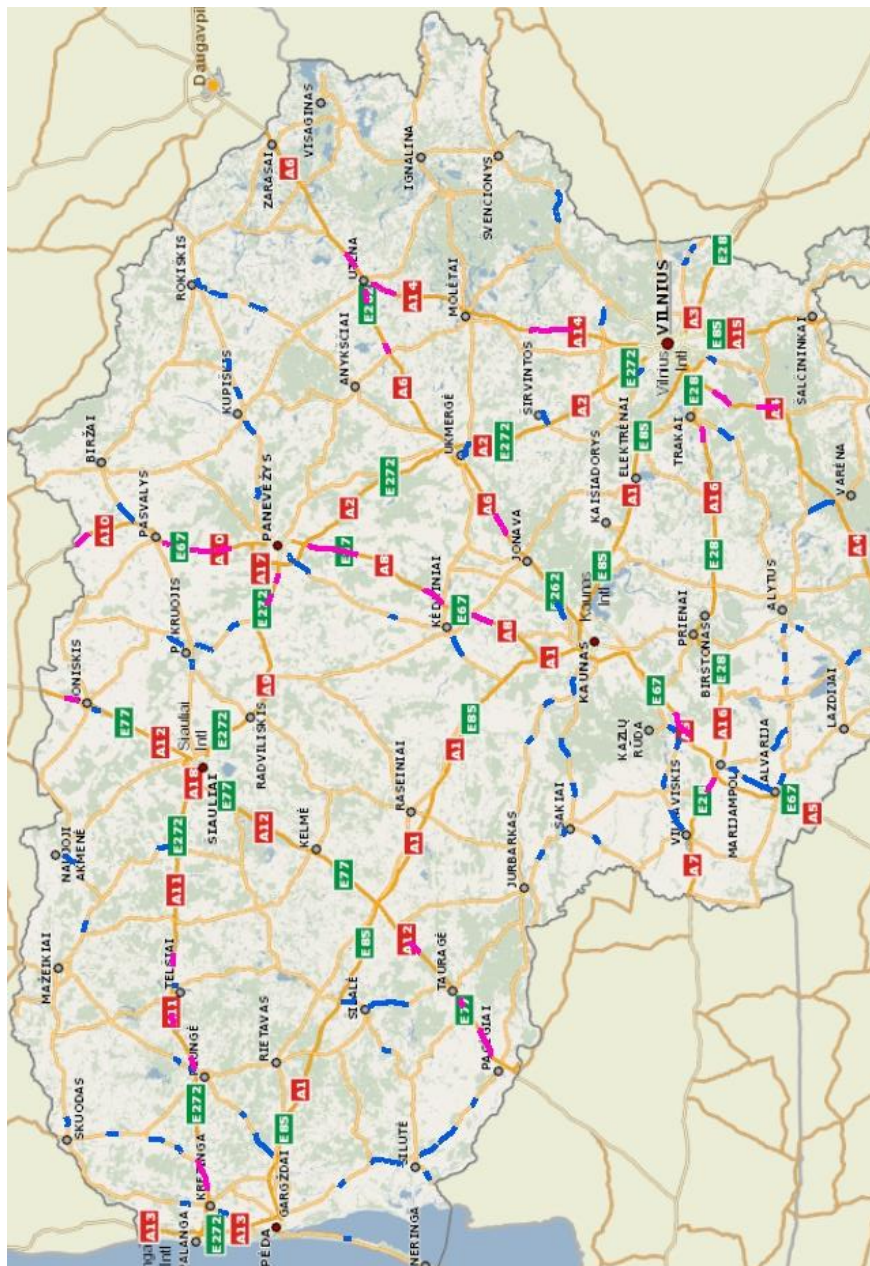
### **Vidutinio greičio matavimo sistemos Lietuvos magistraliniuose keliuose įgyvendinimo variantai**

*I variantas* VGMS įrengiama 9 magistralinių kelių ruožuose:

- Tikėtina nauda, sumažėjus 2,58 prognozuojamais eismo įvykiais su žuvusiais per metus, sudarytų 1 539 999,42 eur/metus.
- Tikėtina nauda, sumažėjus 0,78 prognozuojamais eismo įvykiais su sužeistais per metus, sudarytų 42 276,78 eur/metus.
- VGMS įrengimo kaštai sudarytų 135 000 eurų.
- VGMS priežiūros metiniai kaštai sudarytų 21 600 eur/metus.

*II variantas.* VGMS įrengiama 18 magistralinių kelių ruožų:

- Tikėtina nauda, sumažėjus 3,97 prognozuojamais eismo įvykiais su žuvusiais per metus, sudarytų 2 369 689,03 eur/metus.
- Tikėtina nauda, sumažėjus 1,15 prognozuojamais eismo įvykiais su sužeistais per metus, sudarytų 62 331,15 eur/metus.
- VGMS įrengimo kaštai sudarytų 270 000 eurų.
- VGMS priežiūros metiniai kaštai sudarytų 43 200 eur/metus.



**4.1 pav.** Vidutinio greičio matavimo sistemos įrengimui parinkti Lietuvos automobilių kelių ruožai  
**Fig. 4.1.** Selected Lithuanian road sections for the installation of average speed enforcement system

*III variantas.* VGMS įrengiama 29 magistralinių kelių ruožuose:

- Tikėtina nauda, sumažėjus 4,95 prognozuojamais eismo įvykiais su žuvusiais per metus, sudarytų 2 954 650,05 eur/metus.
- Tikėtina nauda, sumažėjus 1,31 prognozuojamais eismo įvykiais su sužeistais per metus, sudarytų 71 003,31 eur/metus.
- VGMS įrengimo kaštai sudarytų 435 000 eurų.
- VGMS priežiūros metiniai kaštai sudarytų 69 600 eur/metus.

### **Vidutinio greičio matavimo sistemos Lietuvos krašto keliuose įgyvendinimas**

Įrengus vidutinę greičio matavimo sistemą 76 kelių ruožuose:

- Tikėtina nauda, sumažėjus 5,98 prognozuojamais eismo įvykiais su žuvusiais per metus, sudarytų 3 569 456,02 eur/metus.
- Tikėtina nauda, sumažėjus 4,86 prognozuojamais eismo įvykiais su sužeistais per metus, sudarytų 263 416,86 eur/metus.
- VGMS įrengimo kaštai sudarytų 1 140 000 eurų.
- VGMS priežiūros metiniai kaštai sudarytų 182 400 eur/metus.

## **4.2. Vidutinio greičio matavimo sistemos ekonominis vertinimas**

### **Ekonominio vertinimo modelis ir kriterijai**

Ekonominis vertinimas atliktas kaštų ir naudos analizės (KNA) metodu, taikant „Automobilių kelių investicijų vadovą“ (2015) pateiktą metodiką bei atsižvelgiant į „Investicijų projektų, kuriems siekiama gauti finansavimą iš Europos Sąjungos struktūrinės paramos ir/ar valstybės biudžeto lėšų, rengimo metodiką“ (2014) bei ES leidinio „Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects“ (2008) rekomendacijas.

4.1 poskyryje aprašyti trys galimi VGMS įdiegimo Lietuvos magistraliniuose keliuose variantai bei vienas krašto keliuose variantas lyginami su įprastos veiklos alternatyva, t. y. jei sistema nebūtų diegiama. Įprastos veiklos alternatyva yra KNA bazinė alternatyva, o galimi VGMS įdiegimo variantai atliekant KNA vertinami šios bazinės alternatyvos atžvilgiu. Priimama prielaida, kad visais veiklos variantais sistemos būtų įdiegtos per 2017 kalendorinius metus. Pasirinktas analizės laikotarpis yra 10 m., t. y. apytikslis laikotarpis, kol kameros atitiktų poreikius.

Vertinant kaštų ir naudos srautus ilgalaikėje perspektyvoje taikomas diskontavimas. Pasirinktas ekonominio (socialinio) metinis diskonto faktorius – 5,0 % (Investicijų projektų... 2014).

Kaštai ir nauda vertinami ribiniu metodu, t. y. skaičiuojamas su projekto įgyvendinimu susijęs kaštų padidėjimas arba sumažėjimas (nauda).



Kaštus sudaro:

- Tiesioginiai VGMS įdiegimo kaštai, t. y. pagal sudarytus variantus:
  - Magistraliniuose keliuose I-o varianto – 135 000 eurų;
  - Magistraliniuose keliuose II-o varianto – 270 000 eurų;
  - Magistraliniuose keliuose III-o varianto – 435 000 eurų;
  - Krašto keliuose – 1 140 000 eurų.
- VGMS eksploatacijos kaštai, t. y. pagal sudarytus variantus:
  - Magistraliniuose keliuose I-o varianto – 21 600 eur/metų;
  - Magistraliniuose keliuose II-o varianto – 43 200 eur/metų;
  - Magistraliniuose keliuose III-o varianto – 69 600 eur/metų;
  - Krašto keliuose – 182 400 eur/metų.
- Transporto laiko sąnaudų padidėjimas.

Projekto vidutinę metinę naudą sudaro dėl VGMS įdiegimo išvengtų eismo įvykių ir jų pasekmių tikėtina vertė per metus:

- Magistraliniuose keliuose I-o varianto – 1 582 276 eur/metų;
- Magistraliniuose keliuose II-o varianto – 2 432 020 eur/metų;
- Magistraliniuose keliuose III-o varianto – 3 025 653 eur/metų;
- Krašto keliuose – 3 832 872,88 eur/metų.

Naudos ir kaštų komponentai gali būti skaičiuojami pastoviomis arba kintamomis kainomis (t. y. įvertinant galimą pabrangimą ateityje). KNA supaprastinimui taikome pastovias 2015 m. kainų lygį atitinkančias kainas, pateiktas „Automobilių kelių investicijų vadove“ (2015). Atsižvelgiant į 2011–2015 m. TP eismo intensyvumo ir eismo įvykių statistinių duomenų kitimą, tolimesniam vertinimui priimame, kad per visą KNA 10 m. laikotarpį dėl VGMS įdiegimo vidutiniškai per metus išvengtų eismo įvykių ir jų pasekmių vertė išliks stabili, t. y., laike nekis.

Pagrindiniai projekto ekonominio atsipirkimo įverčiai:

- Grynoji dabartinė vertė GDV;
- Vidinė grąžos norma VGN;
- Dabartinės naudos vertės ir dabartinės kaštų vertės santykis DNV/DKV arba rentabilumas.

GDV parodo absoliutų ekonominį efektą, atsižvelgiant į laiko veiksnį per projekto gyvavimo laikotarpį ir yra išreiškiama sumine diskontuotos naudos ir suminių diskontuotų kaštų skirtumu.

VGN laikoma tokia diskonto norma, kuriai esant pinigų srautų grynoji dabartinė vertė yra lygi 0.

DNV/DKV (rentabilumas) yra išreiškiamas sumine diskontuotos naudos ir suminių diskontuotų kaštų santykiu.

Kad priemonė/projektas būtų laikomas ekonomiškai atsiperkančiu jo ekonominiai rodikliai turi tenkinti šias sąlygas:

- VGN didesnė už taikytą diskonto normą (t. y.  $VGN > 5,0 \%$ );
- $GDV > 0$ ;
- $DNV/DKV > 1$ .

#### *Transporto laiko sąnaudos*

Kaip ir eismo įvykiai ir jų pasekmės, transporto laiko sąnaudos gali būti išreikštos ekonomine išraiška. Po VGMS įdiegimo sumažės leistino greičio viršijimų bei vidutinis TP greitis. Tokiu atveju kelionės laikas pailgės. Tačiau Veisten *et al.* (2013) nurodo, kad atliekant VGMS KNA nereikėtų atsižvelgti į laiko sąnaudas. Mokslininkų teigimu, įvertinant TP laiko sąnaudas, skaičiuojame greičio viršytojų gaunamą naudą, kai jie nesilaiko Kelių eismo taisyklių – viršija leistiną greitį. Priimama, kad laiko sąnaudos yra įvertinamos, kai ribojamas greitis. VGMS yra tik priemonė turinti įtakos vairuotojų pasirinkimui laikytis leistino greičio, o ne keičianti greičio ribojimo dydį. Todėl atliekant VGMS ekonominį vertinimą į TP laiko sąnaudas neatsižvelgta.

#### *Kaštų ir naudos analizės rezultatai*

VGMS KNA rezultatai rodo aukštą visų nagrinėtų Lietuvos automobilių keliuose įdiegimo variantų ekonominio atsipirkimo lygį. Geriausi rodikliai gauti nagrinėjant sistemos įdiegimą magistraliniuose keliuose pagal pirmąjį variantą ( $GDV=10\,436$  tūkst. eurų;  $VGN=1156,1 \%$ ;  $DNV/DKV=38,98$ ), tačiau kitų variantų, taip pat VGMS įdiegimo krašto keliuose ekonominis efektyvumas mažai atsilieka. Sistemos įdiegimas atsipirktų per vienerius eksploatacijos metus.

Norint patikrinti KNA rezultatų jautrumą galimiems sistemos įdiegimo kaštų pokyčiams, atliktas KNA rezultatų testavimas su 66,7 % pabrangimu (t. y. jei VGMS įrengimas viename kelio ruože vietoje 15 000 eurų kainuotų 25 000 eurų) ir su 166,7 % pabrangimu (t. y. jei VGMS įrengimas viename kelio ruože vietoje 15 000 eurų kainuotų 40 000 eurų). Testas parodė mažą jautrumą įdiegimo kaštų pokyčiams. Visais atvejais ekonominiai rodikliai nors ir sumažėjo, išliko teigiami. Tai reiškia, kad sistemos diegimo kaštai, dėl sąlyginai mažos įrangos kainos, praktiškai neturi įtakos ekonominiams rodikliams.

VGMS ekonominio vertinimo skaičiavimai pateikiami F priede.

## **4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados**

1. Pagal sudarytus magistralinių ir krašto kelių ruožuose vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo eismo saugumui nustatymo modelius sistemos įrengimui parinkti potencialūs 29 magistralinių ir 76 krašto kelių ruožai.

2. Vidutinio greičio matavimo sistemos įdiegimui parinktuose kelių ruožuose Kelių tinklo saugumo vertinimo programa Tarva LT suprognozuota, kad po sistemos įdiegimo magistralinių kelių ruožuose per metus sumažėtų 5 eismo įvykiais su žuvusiais ir daugiau nei 1 eismo įvykiu su sužeistais. Parinktuose krašto kelių ruožuose per metus sumažėtų 6 eismo įvykiais su žuvusiais ir beveik 5 eismo įvykiais su sužeistais.
3. Atlikus vidutinio greičio matavimo sistemos įdiegimo Lietuvos automobilių kelių ruožuose skirtingų variantų kaštų ir naudos analizę, nustatytas aukštas visų nagrinėjamų variantų ekonominio atsipirkimo lygis. Sistemos įdiegimas atsipirktų per vienerius eksploatacijos metus. Geriausi rodikliai gauti, kai sistema vienu metu būtų įdiegta devyniuose magistralinių kelių ruožuose. Tokiu atveju grynoji dabartinė vertė būtų 10 436 tūkst. eurų, vidinė grąžos norma –1156,1 %, dabartinės naudos vertės ir dabartinės kaštų vertės santykis (rentabilumas) – 38,98.
4. Patikrinus kaštų ir naudos rezultatų jautrumą galimiems sistemos įdiegimo kaštų pokyčiams su 66,7 % pabrangimu ir su 166,7 % pabrangimu, nustatytas mažas jautrumas. Abiem atvejais ekonominiai rodikliai nors ir sumažėjo, išliko teigiami.



---

## Bendrosios išvados

1. Tyrimais nustatyta, kad momentinio greičio matuoklio veikimo atkarpa yra iki 500 m ilgio nuo matuoklio įrengimo vietos. Tuo tarpu „miesto vartų“ veikimo atkarpos ilgis yra 150 m. Taip pat nustatyta, kad atstumas 300 m ir daugiau tarp trapecinių greičio reguliavimo kalnelių neužtikrina 50 km/h transporto srauto greičio neviršijimo.

2. Susisteminus inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių taikymo sąlygas, matoma, kad inžinerinės kontrolės priemonės (skirtingai nei reguliavimo priemonės) gali būti taikomos esant visiems leistiniams greičiams. Nustatyta, kad iš visų inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių vidutinio greičio matavimo sistemos veikimo atkarpa yra ilgiausia – nuo 2 km iki 10 km.

3. Išanalizavus užsienio šalyse veikiančios vidutinio greičio matavimo sistemos patirtį, sudarytas kelio ruože sistemos veiksmingumo eismo saugumui įvertinimo modelis. Vidutinio greičio matavimo sistemos modelis apima keturis etapus. Pirmame etape įvertinama prognozuojamų eismo įvykių su žuvusiais rizika kelių ruožuose. Antrame etape įvertinamas homogeninių kelių ruožų ilgis. Trečiame etape kelių ruožuose įvertinamas leistiną greitį viršijančių vairuotojų procentas. Ketvirtame etape įvertinus VMPEI tolygumą tarp greta esančių kelių ruožų, trumpi ruožai apjungiami.

4. Panaudojus analitinį hierarchijos proceso ir rangų koreliacijos metodus nustatyti inžinerinių greičio reguliavimo ir kontrolės priemonių įtakos avaringumo sumažėjimui reikšmingumai. Išreiškus juos kriterijų skirtingo didumo normalizuotais svorio koeficientais gauta priemonių prioritetinė eilė nuo svarbiausio link mažiausiai svarbaus kriterijaus: žiedinė sankryža ( $\omega_D = 0,2685$ ), vidutinio greičio matavimo sistema ( $\omega_E = 0,2078$ ), iškili greičio mažinimo priemonė ( $\omega_A = 0,1391$ ), važiuojamosios dalies susiaurinimas arba iškreivinimas ( $\omega_C = 0,1121$ ), „miesto vartai“ ( $\omega_B = 0,1075$ ), momentinio greičio matuoklis ( $\omega_F = 0,0930$ ), skersinės struktūrinio ženklavimo triukšmo juostos ( $\omega_H = 0,0441$ ) ir informacinė momentinio greičio švieslentė ( $\omega_G = 0,0278$ ).

5. Vidutinio greičio eksperimentiniu tyrimu A11 kelyje nustatyta, kad daugiau kaip 10 km/h vidutinis greitis dažniausiai viršijamas ruožuose, kuriuose mažiausias leistinas greitis: 50 km/h ir 70 km/h. Statistinė analizė rodo, kad tarp šių tiriamų ruožų vidutinis greičio viršijimas statistiškai reikšmingai nesiskiria. Rečiausiai vidutinis greitis viršijamas kelio ruože, kuriame dažni greičio apribojimai (tiriamame ruože leistinas greitis kinta 4 kartus). Tarp kelio ruožų, kuriuose mažiausias leistinas greitis (50 km/h ir 70 km/h) ir kelio ruožo, kuriame dažni greičio apribojimai, vidutinis greičio viršijimas statistiškai reikšmingai skiriasi.

6. Vidutinio greičio matavimo sistemos eksperimentiniu tyrimu nustatyta, kad po sistemos įdiegimo daugiau kaip 10 km/h leistiną 90 km/h greitį viršijančių TP sumažėjo 53,39 %. Vidutinis TP greitis sumažėjo 3,85 km/h. Vidutinio greičio matavimo sistemos įrengimas 4,873 km kelio atkarpoje labiausiai turėjo įtakos daugiau kaip 10 km/h vidutinio leistino 88 km/h greičio pažeidimų sumažėjimui.

7. Parenkant valstybinės reikšmės magistralinių ir krašto kelių ruožus, kuriuose vidutinio greičio matavimo sistema gali būti veiksminga eismo saugumo požiūriu, rekomenduojama taikyti sudarytą ir daktaro disertacijoje pateikiamą sistemos veiksmingumo kelio ruože įvertinimo modelį. Pagal sudarytą modelį parinktuose Lietuvos magistralinių ir krašto kelių ruožuose įdiegtos vidutinio greičio matavimo sistemos kaštų ir naudos analizės rezultatai rodo aukštą ekonominio atsipirkimo lygį. Sistemos įdiegimas atsipirktų per vienerius eksploatacijos metus. Patikrinus kaštų ir naudos analizės rezultatų jautrumą galimiems vidutinio greičio matavimo sistemos įdiegimo kaštų pokyčiams su 66,7 % pabrangimu ir su 166,7 % pabrangimu, nustatytas mažas jautrumas. Abiem atvejais ekonominiai rodikliai nors ir sumažėja, tačiau išlieka teigiami.

---

## Rekomendacijos

1. Vienas iš sudaryto ir daktaro disertacijoje pateikiamo vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo kelio ruože įvertinimo modelio principų yra homogeninių kelių ruožų ilgis. Šis principas sudarytas remiantis užsienio šalių patirtimi ir juo nurodoma, kad sistema gali būti veiksminga, kai ruožo ilgis yra nuo 2 km iki 10 km. Vidutinio greičio matavimo sistemos eksperimentinio tyrimo rezultatai patvirtina sistemos veikimo atkarpos ilgį. Lietuvos magistralinio A5 Kaunas–Marijampolė–Suvalkai kelio 4,873 km atkarpoje įrengta sistema turi teigiamą poveikį tiek TP greičio, tiek avaringumo sumažėjimui.

2. Atsižvelgiant į vidutinio greičio kontrolės eksperimentinio tyrimo A11 Šiauliai–Palanga kelyje gautus rezultatus, rekomenduotina pagal sudarytą vidutinio greičio matavimo sistemos veiksmingumo įvertinimo modelį parinktus magistra-linių ir krašto kelių ruožus prioretizuoti ne tik pagal prognozuojamų eismo įvykių su žuvusiais skaičiaus pokytį po sistemos įdiegimo, bet ir pagal leistiną greitį bei apribojimų skaičių. Pagal tyrimo metu gautus vidutinio greičio viršijimus siūloma prioritetą/aukštesnį balą skirti kelių ruožams, kuriuose yra nedidelis (50 km/h arba 70 km/h) ir pastovus leistinas greitis. Mažesnis balas rekomenduotinas kelių ruožams, kuriuose didesnis (90 km/h) leistinas greitis, o mažiausias balas – kelių ruožams, kuriuose dažnas leistino greičio kitimas (pvz. 70–90–70–90–70 km/h).

3. Rekomenduotina diegti vidutinio greičio matavimo sistemą, kuri atpažintų TP kategoriją ir bauda už vidutinio greičio viršijimą kelio ruože būtų skiriama pagal TP kategorijai leistiną greitį.

4. Atsižvelgiant į vidutinio greičio matavimo sistemos ekonominio vertinimo rezultatus, rekomenduotina Lietuvos automobilių keliuose sistemą pradėti diegti magistralinių kelių ruožuose. Pagal gautus geriausius kaštų ir naudos rezultatus siūloma vidutinio greičio matavimo sistemą pirmu etapu diegti devyniuose kelių ruožuose.



---

## Literatūra ir šaltiniai

Aarts, L.; Schagen, I. 2006. Driving speed and the risk of road accidents: A review, *Accident Analysis and Prevention* 38, 215–224.

AASHTO, 2010. *Highway Safety Manual*, first ed. Washington, DC.

An Improved Traffic Environment: A Catalogue of Ideas 1993. Denmark Ministry of Transport. Copenhagen: Traffic Safety and Environment, Road Directorate. Danija.

An Improved Traffic Environment: A Catalogue of Ideas 1993. Denmark Ministry of Transport. Copenhagen: Traffic Safety and Environment, Road Directorate. Danija.

Anisimovas, M.; Jasiūnienė V. 2016. Galimybių santykio teorijos pritaikymas iškiliųjų pėsčiųjų perėjų efektyvumo tyrime. 19-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija Civilinė inžinerija ir geodezija (2016 m. kovo 25 d.). eISSN 2029-7149. CD ISBN 978-609-457-922-6.1–6 p.

Antić, B.; Pešić, D.; Vujanić, M.; Lipovac, K. 2013. The Influence of Speed Bumps Heights to the Decrease of the Vehicle Speed – Belgrade Experience, *Safety Science* 57: 303–312. doi:10.1016/j.ssci.2013.03.008

Ariën, C.; Brijs, K.; Brijs, T.; Ceulemans, W.; Vanroelen, G.; Jongen, E. M. M.; Daniels, S.; Wets, G. 2014. Does the Effect of Traffic Calming Measures Endure over Time? – A Simulator Study on the Influence of Gates, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 22: 63–75. doi:10.1016/j.trf.2013.10.010

Asian Development Bank. Road safety publicity and campaigns: road safety guidelines for the Asian and Pacific region. 237 p.

Automobilių kelių investicijų vadovas. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus 2015 m. lapkričio 26 d. įsakymu Nr. VE-23.

Azizi, L.; Sheikholeslami, A. 2013. Safety Effect of U-Turn Conversions in Tehran: Empirical Bayes Observational Before-and-After Study and Crash Prediction Models. *Journal of Transportation Engineering*, 139 (1): 101–108.

Carnis, L., Blais, E., 2013. An assessment of the safety effects of the French speed camera program. *Accident Analysis and Prevention* 51, 301–309.

Chen, L.; Chen, C.; Ewing, R.; McKnight, E. M.; Srinivasan, R.; Roe, M. 2013. Safety Countermeasures and Crash Reduction in New York City-Experience and Lessons Learned, *Accident Analysis and Prevention* 50: 312–322. doi:10.1016/j.aap.2012.05.009

Chen, S. L.; Pham, V. K.; Chen, J. K. C. 2016. Evaluating and selecting the best outsourcing service country in East and Southeast Asia: An AHP approach, *Journal of Testing and Evaluation* 44(1): 89–101. Doi: 10.1520/JTE20140065. ISSN 0090-3973

Chen, S.; Hung, H. F. 2016. Formative measurement tests of supplier evaluation indicators and weight models, *Journal of Testing and Evaluation* 44(3): 1350–1363. doi: 10.1520/JTE20140426. ISSN 0090-3973

Cirillo, J. A. 1968. Interstate System Accident Research Study II, Interim Report II. Public Roads, 35, 71–75.

Connolly, T., Åberg, L. 1993. Some contagion models of speeding. *Accident Analysis and Prevention*, 25, 57–66.

Čekanavičius, V.; Murauskas, G. 2003. Statistika ir jos taikymai. 1 dalis. Vilnius: TEV. 239 p.

Davis G. 2001. Relating Severity of Pedestrians Injury to Impact Speed in Vehicle-Pedestrian Crashes – Simple threshold model, *Transportation Research Record* 1773, P per N°01-0495. TRB, Washington DC.

De Haven H. 'Mechanical analysis of survival in falls from heights of fifty to one hundred and fifty feet'. *War Medicine*, 1942, 6:586–596 (reprinted in *Injury Prevention*, 6: 62–68).

De Pauw, E.; Daniels, S.; Brijs, T.; Hermans, E.; Wets G., 2014A. Behavioural effects of fixed speed cameras on motorways: Overall improved speed compliance or kangaroo jumps? *Accident Analysis and Prevention* 73: 132–140.

De Pauw, E.; Daniels, S.; Brijs, T.; Hermans, E.; Wets G., 2014B. An evaluation of the traffic safety effect of fixed speed cameras, *Safety Science* 62: 168–174.

De Pauw, E.; Daniels, S.; Brijs, T.; Hermans, E.; Wets, G. 2014C. Automated section speed control on motorways: An evaluation of the effect on driving speed, *Accident Analysis and Prevention* 73: 313–322.

Design and implementation of speed humps; Supplement to National Guidelines for Traffic Calming. 1997. Ataskaita Nr. CR-97/038. Pietų Afrikos Respublika.

DfT, Department for Transport, 2000. Village Traffic Calming – Reducing Accidents. Traffic Advisory Leaflet 11/00, UK.

DfT, Department for Transport, 2005. Traffic Calming on Major Roads, UK.

Dong, O.; Cooper, O. 2016. A peer-to-peer dynamic adaptive consensus reaching model for the group AHP decision making, *European Journal of Operational Research* 250: 521–530. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.09.016>

Eismo intensyvumo apskaita valstybinės reikšmės keliuose 2014 m. VŠĮ KTTI 2015 m. vasario mėn.

Elliott, B. 2001. What do we know about influencing speed behaviour? Proceedings of the National Speed and Road Safety Conference, Adelaide.

Elvik, R. 2008. The predictive validity of empirical Bayes estimates of road safety, *Accident Analysis and Prevention* 40(6): 1964–1969. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2008.07.007>

Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., Sorensen, M., 2009. The Handbook of Road Safety Measures Second Edition. Emerald Group Publishing Limited, Howard House, Wagon Lane, Bingley BD 16 1WA, UK. 1124 p. ISBN 978-1-84855-250-0.

Elvik, R.; 2014. Cost-Benefit Analysis of Incentive Systems Rewarding Compliance with Speed Limits. *Transportation Research Record* 0349: 8–15. DOI: 10.3141/2465-02

Elvik, R.; Christensen, P.; Amundsen, A. 2004. Speed and Road Accidents. An Evaluation of the Power Model. TØI report 740/2004. Institute of Transport Economics TOI, Oslo.

ES leidinys Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects (Investicinių projektų sąnaudų ir naudos analizės gairės) 2008.

Federal Highway Administration. 2012. Speed Management. A Manual of Local Rural Road Owners. FHWA-SA-12-027.

Finch, D. J., Kompfner, P., Lockwood, C. R., Maycock, G., 1994. Speed, speed limits and crashes. Project Record S211G/RB/Project Report PR 58. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire.

Fridstrøm, L. et al 1995. Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts, *Accident Analysis and Prevention* 27: 1–20.

Galante, F.; Mauriello, F.; Montella, A.; Perneti, M.; Aria, M.; D'Ambrosio, A. 2010. Traffic Calming around Rural Highways Crossing Small Urban Communities: Driving Simulator Experiment, *Accident Analysis and Prevention*, 42(6): 1585–1594. doi:10.1016/j.aap.2010.03.017

Garber, N. J.; Hoel, L. A. 2015. *Traffic & Highway Engineering*. Fifth Edition. ISBN-13: 978-1-133-60708-3

Garcia, A.; Torres, A.J.; Romero, M.A.; Moreno, A.T. 2011. Traffic microsimulation study to evaluate the effect of type and spacing of traffic calming devices on capacity, *Procedia Social and Behavioral Sciences* 16: 270–281.

- Gehlert, T.; Schulze, C.; Schlag, B. 2012. Evaluation of different types of dynamic speed display signs, *Transportation Research Part F* 15: 667–675.
- Gibson, J. J. 1961. The contribution of experimental psychology to the formulation of the problem of safety: a brief for basic research, *Behavioral Approaches to Accident Research*: 77–89. New York, Association for the Aid of Crippled Children.
- Global Road Safety Partnership. 2008. Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners. Geneva. ISBN 978-2-940395-04-0.
- Gonestas, E.; Strielčiūnas, R. R. 2003. *Taikomoji statistika*. Kaunas: Lietuvos kūno kultūros akademija. 304 p.
- Gross, F., Persaud, B., Lyon, C., 2010. A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors. Report FHWA-SA-10-032, Washington, D.C.
- Gudienė, N.; Banaitis, A.; Podvezko, V.; Banaitienė, N. 2014. Identification and evaluation of the critical success factors for construction projects in Lithuania: AHP approach, *Journal of Civil Engineering and Management* 20(3): 350–359. <http://dx.doi.org/10.3864/13923730.2014.914082>
- Haddon W Jr. 1973. Energy damage and the ten countermeasure strategies, *The Journal of Trauma* 13 (4): 321–331.
- Hallmark, S. L., Peterson, E., Fitzsimmons, E., Hawkins, N., Resler, J., Welch, T., 2007. Evaluation of gateway and low-cost traffic-calming treatments for major routes in small rural communities. CTRE Project 06-185, IHRB Project TR-523. Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, US.
- Harwood, D. W.; Bauer, K. M.; Potts, I. B.; Torbic, D. J.; Richard, K. R.; Rabbani, E. R. K.; Hauer, E.; Elefteriadou, L.; Griffith, M. S. 2003. Safety Effectiveness of Intersection Left- and Right-Turn Lanes, *Transportation Research Record* 1840: 131–139.
- Hauer, E. 1997. Observational Before-After Studies in Road Safety: Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety. Pergamon, Tarrytown, N. Y.
- Hauer, E.; Harwood, D. W.; Council, F. M.; Griffith, M. S. 2002. Estimating safety by the empirical Bayes method. A Tutorial, *Transportation Research Record* 1784: 126–131. <http://dx.doi.org/10.3141/1784-16>
- Hess, S. 2004. Analysis of the effects of speed limit enforcement cameras: Differentiation by road type and catchment area, *Transportation Research Record* 1865: 28–34. doi:10.3141/1865-05
- Høy, A. 2014. Speed cameras, section control, and kangaroo jumps-a meta-analysis. *Accident Analysis and Prevention* 73: 200–208.
- Huang, H. F.; Cynecki, M. J. 2000. Effects of Traffic Calming Measures on Pedestrian and Motorist Behavior, *Transportation Research Record* 1705: 26–31. <http://dx.doi.org/10.3141/1705-05>

Hunter, W. W., J. C. Stutts, W. E. Pein, C. L. Cox, 1996. Pedestrian and Bicycle Crash Types of the Early 1990's. FHWA-RD-95-163. Federal Highway Administration, McLean, VA.

Young, L. K., Lenné, M. G. 2010. Road and Transport Research, 19, 21–37.

Jasiūnienė, V.; Čygas, D. 2013. Road Accident Prediction Model For the Roads of National Significance of Lithuania, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 8(1):66-73. DOI: 10.3846/bjrbe.2013.09

Jeihani, M.; Ardeschiri, A.; Naeeni, A. 2012. Evaluating the Effectiveness of Dynamic Speed Display Signs. Department of Transportation and Urban Infrastructure Studies.

Joint Transport Research Centre. 2006. Speed Management. Summary Document. 20 p.

Jurewicz, C.; Sobhani, A.; Woolley, J.; Dutschke, J.; Corben, B. 2016. Exploration of vehicle impact speed – injury severity relationships for application in safer road design. *Transportation Research Procedia* 14 (2016): 4247–4256.

Kallberg, V-P.; Luoma, J. 1996. Speed Kills – or Does It and Why? in Proc. of the International Conference Road Safety in Europe. VTI konferens No. 7A, Part 2. September 9–11, 1996.

Kanellaidis, G.; Golias, J.; Zarifopoulos, K. 1995. A survey of drivers' attitudes toward speed. *Journal of Safety Research*, 26, 31–40.

Kelių tinklo saugumo lygių nustatymo tvarkos aprašas. 2011. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. 2011 m. vasario 25 d. įsakymas Nr. V-61.

Kendall, M. G. 1970. *Rank Correlation methods*. 4th edition. London: Griffin and Co. 365 p.

Kendall, M.; Gibbons, J. D. 1990. *Rank Correlation Methods*. Fifth edition. New York: Edward Arnold. 260 p.

Kou, G.; Ergu, D.; Peng, Y.; Shi, Y. 2013. *Data Processing for the AHP/ANP*. Heidelberg, New York, Dordrecht London: Springer. 138 p.

Kuratorium für Verkehrssicherheit, 2007. Summary and publication of best practices in road safety in the member states. Thematic Report: Enforcement. European Commission, Austria.

Lantieri, C.; Lamperti, R.; Simone, A.; Costa, M.; Vignali, V.; Sangiorgi, C.; Dondi, G. 2015. Gateway Design Assessment in the Transition from High to Low Speed Areas, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 34: 41–53. doi:10.1016/j.trf.2015.07.017

Lapė, J.; Navikas, G. 2003. *Psichologijos įvadas*. Vadovėlis. Lietuvos teisės universitetas, Vilnius: 219 p. ISBN 9955-442-93-X.

Lazauskas, M.; Kutut, V.; Zavadskas, E. K. 2015. Multicriteria assessment of unfinished construction projects, *Gradevinar* 67(4): 319–328. doi: 10.14256/JCE.1179.2014

- Lee, G.; Joo, S.; Oh, C.; Choi, K. 2013a. An Evaluation Framework for Traffic Calming Measures in Residential Areas, *Transportation Research Part D* 25 (2013): 68-76. doi: 10.1016/j.trd.2013.08.002
- Lee, G.; Joo, S.; Oh, C.; Choi, K. 2013b. A Comprehensive Evaluation Framework for Traffic Calming Measures in Residential Areas. Transportation Research Board 92nd Annual Meeting, Washington. 1–19 p.
- Li, H., Graham, D. J., Majumdar, A., 2013. The Impacts of Speed Cameras on Road Accidents: an Application of Propensity Score Matching Methods, *Accident Analysis and Prevention* 60: 148–157. doi: 10.1016/j.aap.2013.08.003
- Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos. Eismo saugumo skyrius. 2008–2011 m. 2012. Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje. Vilnius, 25–100.
- Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos. Eismo saugumo skyrius. 2009–2012 m. 2013. Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje. Vilnius, 25–100.
- Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos. Eismo saugumo skyrius. 2010–2013 m. 2014. Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje. Vilnius, 25–100.
- Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos. Eismo saugumo skyrius. 2011–2014 m. 2015. Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje. Vilnius, 25–100.
- Lietuvos kelių policijos tarnyba. 2015a. 2014 m. avaringumo statistika. Pranešimo skaidrės.
- Lietuvos Respublikos administracinių teisės pažeidimų kodeksas. 124 str. 2016.
- Lietuvos Respublikos kelių įstatymas. 1995 m. gegužės 11 d. Nr. I-891. Vilnius.
- Lietuvos Respublikos Vyriausybės 1999 m. birželio 9 d. nutarimas Nr. 757 „Dėl valstybinės reikšmės automobilių kelių sąrašo patvirtinimo“. Vilnius. Suvestinė redakcija nuo 2016-02-05
- Liu, P., Zhang, X., Wang, W., Xu, C., 2011. Driver response to automated speed enforcement on rural highways in China. *Transportation Research Record* 2265: 109–117. doi:http://dx.doi.org/10.3141/2265-12
- Liu, S.; Oxley, J.; Corben, B.; Young, K. 2012. Velocity Series Discussion Paper 4: Factors Influencing Travel Speed. Monash University Accident Research Centre. ISBN 07326 23782; ISSN 1835-4815 (online). 37 p.
- Luoma, J.; Rajamäki, R.; Malmivuo, M. 2012. Effects of reduced threshold of automated speed enforcement on speed and safety, *Transportation Research Part F* 15: 243-248. doi: 10.1016/j.trf.2012.01.002
- Mackay, M. 1997. A review of the biomechanics of impacts in road accidents. In: J. A. C. Ambrósio et. Al. (Eds), *Crashworthiness of Transportation Systems: Structural Impact and Occupant Protection*, 115–138. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Matka-aikaan perustuvan automaattisen nopeusvalvonnan kokeilu. 2010. ISBN 978-952-243-196-7. Helsinki, Suomija. 52 p.

MN ŽSP 12. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, 2012. Žiedinių sankryžų projektavimo metodiniai nurodymai MN ŽSP 12. Vilnius, 68 p.

Montella, A., 2005. Safety reviews of existing roads: quantitative safety assessment methodology, *Transportation Research Record* 1922: 62–72.

Montella, A., 2009. Safety evaluation of curve delineation improvements: empirical Bayes observational before-and-after study, *Transportation Research Record* 2103: 69–79.

Montella, A., 2010. A comparative analysis of hotspot identification methods, *Accident Analysis and Prevention* 42: 571–581.

Montella, A., Persaud, B., D'Apuzzo, M., Imbriani, L.L., 2012. Safety evaluation of an automated section speed enforcement system, *Transportation Research Record* 2281: 16–25. doi: 10.3141/2281-03

Montella, A.; Imbriani, L. L.; Marzano V.; Mauriello, F. 2015b. Effects on speed and safety of point-to-point speed enforcement systems: Evaluation on the urban motorway A56 Tangenziale di Napoli, *Accident Analysis and Prevention* 75: 164–178. doi: 10.1016/j.aap.2014.11.022

Montella, A.; Punzo, V.; Chiaradonna, S.; Mauriello, F.; Montanino, M. 2015a. Point-to-point speed enforcement systems: Speed limits design criteria and analysis of drivers' compliance, *Transportation Research Part C* 53: 1–18. doi: 10.1016/j.trc.2015.01.025

Montgomery, D. C.; Runger, G. C. 1999. Applied Statistics and Probability for Engineers. USA: John Wiley & Sons, Inc. 817 p.

Mountain, L. J., Hirst, W. M., Maher, M. J., 2004. Costing lives or saving lives: a detailed evaluation of the impact of speed cameras, *Traffic Engineering and Control* 45 (8): 280–287.

Munden, J. M. 1967. The relation between a driver's speed and his accident rate. RRL Report LR 88. Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire.

Nilsson, G. 2004a. Trafiksäkerhetsåtgärder och regelefterlevnad. VTI meddelande 951. Väg- och Transportforskningsinstitutet, Linköping.

Nilsson, G. 2004b. Traffic Speed Dimensions and The Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety. Lund Institute of Technology, Lund.

Norwegian Public Roads Administration. 2011. Automatic section speed control. Norway. No. 2010: 2625. ISSN: 1892-3844. 56 p.

NRA, National Roads Authority, 2005. Guidelines on Traffic Calming for Towns and Villages on National Routes. Dublin.

Orr, D. P.; Stein, P.; Lampman, J. 2015. Effect of Painted Shoulders on Vehicle Speed, *Transportation Research Record* 2472: 129–133. DOI: 10.3141/2472-15

Oxley J, Corben B. 2002. Effective speed management. Melbourne, Monash Univesity Accident Centre, VICROADS.

- Palamara, P. G., Stevenson, M. R. 2003. A longitudinal investigation of psychosocial risk factors for speeding offences among young motor car drivers. Injury Research Centre, Department of Public Health, The University of Western Australia, Report 128.
- Persaud, B. N.; Retting, R. A.; Garder, P. E.; Lord, D. 2001. Safety Effect of Roundabout Conversions in the United States: Empirical Bayes Observation Before-After Study, *Transportation Research Record* 1751: 1–8.
- Persaud, B., Lyon, C., 2007. Empirical Bayes before-after studies: lessons learned from two decades of experience and future directions, *Accident Analysis and Prevention* 39: 546–555. doi: 10.1016/j.aap.2006.09.009
- Persaud, B., Lyon, C.; Eccles, K.; Soika, J. 2016. Safety Effectiveness of Centerline Plus Shoulder Rumble Strips on Two-Lane Rural Roads, *Journal of Transportation Engineering*. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000821
- Podvezko, V. 2005. Ekspertų įvertių suderinamumas, *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas* 11(2): 101–107.
- Podvezko, V. 2009. Application of AHP technique, *Journal of Business Economics and Management* 10(2): 181–189. doi: 10.3846/1611-1699.2009.10.181-189
- Podvezko, V.; Sivilevičius, H. 2013. The use of AHP and rank correlation methods for determining the significance the interaction between the elements of a transport system having a strong influence on traffic safety, *Transport* 28(4): 389–403. doi: 10.3846/16484142.2013.866980
- Policijos departamentas prie Vidaus reikalų ministerijos 2010. 2009 metų veiklos ataskaita. Vilnius, 17 p.
- R ISEP 10. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, 2010. Inžinerinių saugaus eismo priemonių projektavimo ir naudojimo rekomendacijos R ISEP 10. Vilnius, 123.
- Rahman, F.; Kojima, A.; Kubota, H. 2009. Investigation on North American Traffic Calming Devices Selection Practices, *IATSS Research* 33(2): 105–119. doi:10.1016/S0386-1112(14)60249-1
- Räsänen, M., Beilinson, L., Kallberg 2004. Automaattisen kameravalvonnin nopeusvaikutukset kantatiellä 51. ISBN 951-803 377-3. Helsinki, Suomija.
- Ratkevičiūtė, K. 2009. Eismo saugumo gerinimo priemonių pagrindimo modelis Lietuvos automobilių keliams. Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika, 110 p.
- Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. USA: McGraw-Hill. 287 p.
- Saaty, T. L. 1990. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research* 48: 9–36.
- Saaty, T. L. 1994. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. Pitsburg: USA. 478 p.



- Saaty, T. L.; Ozdemir, M. S. 2003. Why the magic number seven plus or minus two, *Mathematical and Computer Modelling* 38: 233–244. doi: 10.1016/S0895-7177(03)00216-4
- Saaty, T. L.; Shang, J. S. 2011. An innovative orders-of-magnitude approach to AHP-based multi-criteria decision making: Prioritizing divergent intangible humane acts, *European Journal of Operational Research* 2014: 703–715. doi: 10.1016/j.ejor.2011.05.019
- Saaty, T. L.; Vargas, L. G. 2012 Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. Second Edition. New York: Springer Science+Business Media. 345 p.
- Sayed, T., deLeur, P., and Pump, J. 2010. Impact of rumble strips on collision reduction on highways in British Columbia, Canada: Comprehensive before-and-after safety study. *Transportation Research Record*, 2148, 9–15.
- Sivilevičius, H. 2011a. Modelling the interaction of transport system elements, *Transport* 26(1): 20–34. doi: 10.3846/16484142.2011.560366
- Sivilevičius, H. 2011b. Application of expert evaluation method to determine the importance of operating asphalt mixing plant quality criteria and rank correlation, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(1): 48–58. doi: 10.3846/bjrbc.2011.07
- Skrodenis, E.; Venckauskaitė, J.; Burinskienė, M. 2009 Substantiation of communication infrastructure selection in newly developed territories. The Baltic journal of road and bridge engineering. Vilnius: Technika. ISSN 1822-427X. Vol. 4, no. 2 (2009), p. 87–94.
- Solomon, D. R. 1964. Accidents on Main Rural highways related to Speed, Driver and Vehicle. US Department of Commerce, Federal Bureau of Highways, Washington DC.
- Soole, D. W.; Watson, B. C.; Fleiter, J. J. 2013. Effects of average speed enforcement on speed compliance and crashes: A review of the literature. *Accident Analysis and Prevention* 54: 46–56. doi: 10.1016/j.aap.2013.01.018
- Soole, D.; Watson, B.; Lennon, A. 2009. The impact of police speed enforcement practices on self-reporting speeding: An exploration of the effects of visibility and mobility. 2009 Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference: Smarter, Safer Directions, Sydney.
- Sørensen, M.; Elvik, R. 2008. Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks – Best Practice Guidelines and Implementations Steps. Ripcord-Iserest.
- Stacionarių greičio matavimo prietaisų poreikio analizė (I tomas). 2007. Kaunas: VĮ Transporto ir kelių tyrimo institutas, 8–30.
- Stanelis, M. 2014. Informacinės momentinio važiavimo greičio švieslentės efektyvumo tyrimas, analizė ir vertinimas. Magistro darbas. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 72 p.
- Stanujkic, D. 2016. An extension of the ratio system approach of MOORA method for group decision-making based on interval-valued triangular fuzzy numbers, *Technological and Economic Development of Economy* 22(1): 122–141. doi: 10.3846/20294913.2015.1070771

Stefan, C., 2006. Section Control – Automatic Speed Enforcement in the Kaisermühlen Tunnel (Vienna, A22 Motorway). Kuratorium fur Verkehrssicherheit, Austria.

Sun, C. C. 2016. A novel approach for evaluating TFT-LCD manufacturer operational performance, *Journal of Testing and Evaluation* 44(3): 1421–1429. doi: 10.1520/JTE20140040. ISSN 0090-39

Taha, H. 1997. *Operations Research. An Introduction*. Sixth edition. New Jersey: Prentice Hall.

Traffic Calming LTN 1/07. 2007. Didžioji Britanija, 146 p.

Transport Research Centre. 2006. Speed Management. Paris. 282 p. ISBN 92-821-0377-3 p.

Treat, J. R.; Tumbas, N. S.; McDonald, S. T.; Shinar, D.; Hume, R. D.; Mayer, R. E.; Stansifer, R. L.; Castellan, N. J. Tri-level Study of the Causes of Traffic accidents. Report of the Institute for Research in Public Safety, Indiana University, Bloomington, IN, 1977.

Treat, J. R.; Tumbas, N. S.; McDonald, S. T.; Shinar, D.; Hume, R. D.; Mayer, R. E.; Stansifer, R. L.; Castellan, N. J. Tri-level Study of the Causes of Traffic Crashes: Final report-Executive Summary. Report No. DOT-HS-034-3-535-79-TAC(S). Institute for Research in Public Safety, Bloomington, IN, 1979.

U.K. Department of Transportation 1987. Killing Speed and Saving Lives. London.

Veisten, K.; Stefan, C.; Winkelbauer, M. 2013. Standing in cost-benefit analysis of road safety measures: A case of speed enforcement vs. speed change, *Transport Policy* 30: 269–274. doi: 10.1016/j.tranpol.2013.09.015

VŠĮ Centrinės projektų valdymo agentūros direktoriaus 2014 m. gruodžio 31 d. įsakymu Nr. 2014/8-337 patvirtinta Investicijų projektų, kuriems siekiama gauti finansavimą iš Europos Sąjungos struktūrinės paramos ir/ar valstybės biudžeto lėšų, rengimo metodika.

Warner, H. W. 2006. Factors influencing drivers' speeding behaviour. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Social Sciences, 21.

Wegman, F., Goldenbeld, C., 2006. *Speed Management: Enforcement and New Technologies*. Report R2006-5, SWOV, Leidschendam.

Wegman, F.; Aarts, L. 2006. *Advancing sustainable safety*; National Road Safety Outlook for 2005–2020. SWOV, Leidschendam.

Wierwille, W. W.; Hanowski, R. J.; Hankey, J. M.; Kieliszewski, C. A.; Lee, S. E.; Medina, A.; Keisler, A. S.; Dingus, T. A. 2002. Identification of driver errors: Overview and recommendations. Report No. FHWA-RD-02-003. US Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Winnett, M. A.; Wheeler, A. H. 2012. Vehicle-activated signs – a large scale. Evaluation. TRL Report TRL548.

Wramborg, P. 2005, 'A new approach to a safe and sustainable road structure and street design for urban areas', Road safety on four continents conference, 2005, Warsaw, Poland, Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), Linköping, Sweden, 12 p.

Wu, H.; Han, Z.; Murphy, M. R.; Zhang, Z. 2015. Empirical Bayes Before-After Study on Safety Effect of Narrow Pavement Widening Projects in Texas, *Transportation Research Record* 2515: 63-69. doi: 10.3141/2515-09

Wundersitz, L. N., Hutchinson, T. P., & Woolley, J. E. 2010. Best practice in road safety mass media campaigns: A literature review. Centre for Automotive Safety Research, Report 74.

Zavadskas, E. K.; Podvezko, V. 2016. Integrated determination of objective criteria weights in MCDM, *International Journal of Information Technology & Decision Making* 15 (2): 267-283. doi:10.1142/S0219622016500036

Zhou, H.; Zhao, J.; Peter, H.; Jing, H. 2013. Safety Effects of Median Treatments Using Longitudinal Channelizers: Empirical Bayesian Before-and-After Study, *Journal of Transportation Engineering* 139 (12): 1149–1155. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000585

Завадскас, Э. К. 1987. *Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве*. Вильнюс: Мокслас. 212 с.

Закс, Л. 1976ю *Статистическое оценивание*. Москва: Статистика. 598 с.

Кремер, Р. Ш. 2003. *Теория вероятностей и математическая статистика*. Москва: ЮНИТИ. 573 с.

Митропольский, А. К. 1971. *Техника статистических вычислений*. Москва: Наука. 576 с.



---

# Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

## Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Laurinavičius, A.; Grigonis, V.; Ušpalytė-Vitkūnienė, R.; Ratkevičiūtė, K.; Čygaitė, L.; Skrodenis, E.; Antov, D.; Smirnovs, J.; Bobrovaitė-Jurkonė, B. 2012. Policy instruments for managing EU road safety targets: road safety impact assessment, *The Baltic journal of road and bridge engineering* 7(1): 60–67. ISSN 1822-427X. Cituojamumo rodiklis (Impact Factor): 1,478

Laurinavičius, A.; Juknevičiūtė-Žilinskienė, L.; Ratkevičiūtė, K.; Lingytė, I.; Čygaitė, L.; Grigonis, V.; Ušpalytė-Vitkūnienė, R.; Antov, D.; Metsvahi, T.; Toth-Szabo, Z.; Varhelyi, A. 2012. Policy instruments for managing road safety on EU-roads, *Transport* 27(4): 397–404. ISSN 1648-4142. Cituojamumo rodiklis (Impact Factor): 1,081

Čygaitė, L.; Jasiūnienė, V.; Žolynas, A. 2014. The analysis of implementation possibilities of sectorial automated vehicle speed control systems on the roads of Lithuania, *The Baltic journal of road and bridge engineering* 9(2): 131–138. ISSN 1822-427X. Cituojamumo rodiklis (Impact Factor): 0,766.

Vaitkus, A.; Strumskys, M.; Jasiūnienė, V.; Jateikienė, L.; Andriejauskas, T.; Skrodenis, D. 2016. Effect of intelligent transport systems on traffic safety, *The Baltic journal of road and bridge engineering* 11(2): 136-143. ISSN 1822-427X. Cituojamumo rodiklis (Impact Factor): 0,519

Jasiūnienė, V.; Jateikienė, L. 2015. Estimation of hazardous road locations on the roads of national significance of Lithuania, *Автомобильные дороги и мосты: научно-технический журнал* 2(16): 95–100. ISSN 2225-9082

### **Straipsniai kituose leidiniuose**

Čygaitė, L.; Lingytė, I.; Ratkevičiūtė, K. 2011. The analysis of implementation automation traffic speed control systems in Lithuanian automobile roads. *8th International Conference "Environmental Engineering"*, May 19–20, 2011, Vilnius, Lithuania: selected papers. Vol. 3: 1057–1063. Sustainable Urban development. Roads and Railways. Technologies of Geodesy and Cadastre. Vilnius: Technika. ISSN 2029-7106, ISBN 9789955288299

Čygaitė, L.; Lingytė, I.; Andriejauskas, T.; Vaitkus, A. 2013. Analysis and evaluation of effectiveness of speed calming measures in Lithuanian state roads. *XXVIII International Baltic Road Conference*, 26–28 August, 2013 Vilnius, Lietuva. Vilnius: Baltic Road Association, 1–8. ISBN 9786099552606

Čygaitė, L.; Lingytė, I.; Strumskys, M. 2014. Analysis of vertical traffic calming measures in impacts on road safety and environment in Lithuania state roads. *9th International Conference "Environmental Engineering"*, May 22–23, 2014, Vilnius, Lithuania: selected papers. Vilnius: Technika, 1–7. ISSN 2029-7092, ISBN 9786094576409

Jateikienė, L.; Andriejauskas, T.; Lingytė, I.; Jasiūnienė, V. 2016. Impact assessment of speed calming measures on road safety, *Transportation research procedia*. Transport Research Arena TRA2016, April 18-21, 2016 / Edited by Leszek Rafalski, Adam Zofka. Amsterdam: Elsevier B.V. Vol. 14 (2016): 4228–4236. ISSN 2352-1465.

---

# Summary in English

## Introduction

### Formulation of the problem

According to the World Health Organization (WHO) more than 1.2 million people die each year on the world's roads. In the European Union almost 26 000 road fatalities and more than 1.4 million injuries were reported in 2014. Lithuania registers more than 3 000 road accidents each year where almost 300 roads users are killed and 4 000 are injured. The yearly accident losses of the Republic of Lithuania amount to almost EUR 400 million.

Results of a large number of researches show that most of the road accidents are caused by road users. Treat *et al.* (1979) have determined that road users account for 57% of the total accidents. And the interaction between road user, road, and vehicle makes 93% of the total number of accidents.

Speeding is one of the most frequent violations of traffic rules by the road users. All over the world almost 50 % of drivers are above the speed limit (Transport Research Centre, 2006). According to the data of Lithuanian Road Police Service (2015) speeding in the year 2014 contributed to 38 % of the total number of traffic rules violations. During preventive actions the police officers have determined that the speed limit on Lithuanian roads is most frequently exceeded by 21–30 km/h.

Many scientists state that speed increases not only the accident risk but also has a significant effect on accident severity. The use of excessive speed is influenced by road infrastructure, circumstances of the concrete situation and driver's motivation, inability to assess risk (Liu *et al.* 2012).

## **Topicality of the thesis**

Lithuania is one of the few European Union countries that successfully achieved the White Paper target, approved by European Commission, to reduce the number of killed in traffic accidents in 2001–2010 by half. The number of fatalities decreased by 58 %. Lithuania prepared the National Traffic Safety Development programme of 2011–2017 period in 2011. The main goal is to achieve that Lithuania will be positioned between the 10 European Union countries having best results under killed road users per 1 million of population (or no more than 60 deaths for one million inhabitants) by improving the status of safe traffic. However, the statistics of recent accident show that positive changes have stabilized. The number of fatalities on Lithuanian roads decreased by only 6.6 % within 2013–2015. It can be assumed that road users have got used to the equipped traffic safety devices on Lithuanian roads, consequently its effectiveness has decreased. Considering the current situation, it is necessary to foresee the innovative solutions and implement not only used but also new measures of traffic safety improvement. Speeding is successfully reduced in foreign countries by installing average speed enforcement system. It is important to select the appropriate road sections in order that the installed average speed enforcement system in Lithuania would be efficient in reduction of traffic accidents and number of fatalities. The assessment model of average speed enforcement system efficiency in a road section is necessary for their determination.

## **The object of research**

Safety impact of the traffic calming and speed control measures and the average speed enforcement system implemented on main and national roads of Lithuania.

## **The aim of the thesis**

To increase road safety by developing a model for the evaluation of safety impact of the average speed enforcement system, involving the impact of engineering measures, and to suggest the economically-justified strategy for main roads of Lithuania.

## **The tasks of the thesis**

The following tasks were solved to achieve the aim of the work:

1. To determine the distance of impact of the engineering traffic calming and speed control measures.
2. To systematize and describe conditions for the use of traffic calming and speed control measures.
3. To develop a model for the evaluation of safety impact of the average speed enforcement system.
4. By using the multi-criteria decision making methods to determine the significance of traffic calming and speed control measures to the reduction of accident rate and to make a priority list of measures.
5. To determine experimentally the dependency of the average speed violations on the speed limit and on the number of speed limitations, to identify the safety impact of the average speed enforcement system.



6. To work out alternatives for the implementation of the average speed enforcement system on the roads of Lithuania and to make their economic evaluation.

## Research methodology

Research methodologies used in this work are based on the analysis of scientific studies in this field. The following research methods were used: systematization, grouping, comparison, statistical analysis of data. Also, the multi-criteria decision making methods based on experts' opinion were used which were adapted for the investigation of the effect of traffic calming and speed control measures on the reduction of accident rate.

## Scientific novelty of the thesis

The following results were obtained in the dissertation being new for the science of civil engineering:

1. Having systematized conditions for the use of traffic calming and speed control measures, it was discovered that only speed control measures can be implemented under all speed limits set in Lithuania. Based on the research results of the distance of impact of traffic calming and speed control measures and foreign experience, it was determined that the distance of impact of the average speed enforcement system is the longest.
2. The significances (weights) of traffic calming and speed control measures for the reduction of accident rate in the distances of its impact have been determined for the first time. In the experts' opinion, the average speed enforcement system according to its significance to road safety is in the second place between the 8 investigated traffic calming and speed control measures.
3. Until now, Lithuania had no methodology for selecting road sections to be installed with the average speed enforcement system. The analysis of foreign practice helped developing a model for the evaluation of safety impact of the average speed enforcement system which joins accident indicators, road and traffic parameters.

## Practical value of the research findings

The presented model for the evaluation of safety impact of the average speed enforcement system can be used in selecting road sections of national significance to be installed with the average speed enforcement system. The dissertation presents the road sections of national significance, selected using the model developed, where the changes in the number of fatal and injury accidents were predicted after implementation of the average speed enforcement system. The accomplished economic evaluation of the implementation of average speed enforcement system on the selected road sections shows a high level of payback. Therefore, having made visual inspections of the road sections before the system implementation and having evaluated the change in the current situation, it is recommended to implement the average speed enforcement system on the road sections presented in the dissertation.

It is expected that the use of research results will help to decrease the number of accidents and their severity.

## Defended statements

1. The impact of traffic calming and speed control measures on road safety depends on the type of measure and its location.
2. A lower speed limit on the road increases the excessive average speed.
3. A model for the evaluation of safety impact of the average speed enforcement system shall involve accident indicators, road parameters, and traffic parameters.

## Approval of the research findings

5 research articles in scientific journals are published under this dissertation topic: four articles are in scientific journals, involved into *Thomson ISI Web of Science* database, which has an impact factor (Laurinavičius *et al.* 2012; Laurinavičius *et al.* 2012; Čygaite *et al.* 2014; Vaitkus *et al.* 2016); one article is in periodical peer reviewed science journal (Jasiūnienė, Jateikienė 2015).

The topic of the dissertation research results was published in four scientific conferences in Lithuania and abroad:

- International conference „*The 8th International Conference „Environmental Engineering“*“, 2011, Vilnius;
- International conference „*XXVIII International Baltic Road Conference*“, 2013, Vilnius;
- International conference „*The 9th International conference „Environmental Engineering“*“, 2014, Vilnius;
- International conference „*The 6th European Transport Research Conference MOVING FORWARD: Innovative Solutions for Tomorrow's Mobility*“, 2016, Warsaw.

## The structure of the dissertation

The dissertation consists of an introduction, four chapters, general conclusions, recommendations, 7 annexes. The total scope of the scientific work is 148 pages (without annexes), 39 numbered formulas, 43 figures, and 24 tables. The thesis was based on a review of 154 literature sources.

## 1. Scientific research analysis of traffic calming and speed control measures application and efficiency

Treat *et al.* (1977, 1979), Wierwille *al.* (2002) present that most accidents occur under human factors. Drivers make frequent mistakes because of human physical, perceptual, and cognitive limitations (AASHTO 2010). It is possible to reduce the probability and consequences of mistakes, knowing opportunities of road users and foreseeing expected mistakes of them. Road infrastructure can protect road users from the death or serious injuries. Road elements and the environment as well can form the behaviour of road users, what can have a positive impact on decrease of road users' errors. Appropriate engineering solutions in the specific situation can be selected with knowledge of engineering measures suitability, considering the application conditions and efficiency of road safety.

Speeding is one of the most frequent violations of traffic rules by the road users. Many scientists state that speed increases not only the accident risk but also has a significant effect

on accident severity. The theoretical model of Nilsson (2004b) shows the relation between the speed change and the accident rate change. A 5 % increase in average speed leads to approximately a 10 % increase in all injury accidents and a 20 % increase in fatal accidents (Transport Research Centre, 2006).

Analysis of the best practice shows that speeding is effectively dealt by equipping gateways, vertical speed calming measures and instantaneous speed measuring devices. Even so, operation section of these measures is limited. Foreign experience points that average speed enforcement system is effective in the longer road sections. However, even in countries with widely applicable average speed enforcement systems, there is no estimation model of these systems efficiency to traffic safety.

## 2. Assessment model of average speed enforcement system efficiency to road safety

According to the data of Lithuanian Road Police Service (2015) speeding is the most frequent violation of traffic rules in Lithuania. During preventive actions the police officers have determined that the speed limit on Lithuanian roads is mostly exceeded by 21–30 km/h.

There are three main solutions to tackle the speeding problem:

- Traffic calming measures;
- Speed control measures (engineering measures as well as human resources – the work of police officers);
- Educational activities.

A group of traffic calming measures consists of: vertical traffic calming measures, gateways, narrowing of carriageway, roundabouts.

Based on the *Recommendations on the Design and Use of Engineering Safety Measures (R ISEP 10)* and *Guidelines for the Design of Roundabouts (MN ŽSP 12)*, conditions for the use of traffic calming and speed control measures were systematized. The document R ISEP 10 provides that in rural area where the speed limit is 70 km/h the vertical traffic calming measures (speed humps of sinusoidal and trapeze shape, and raised junctions) can be installed not only on the regional but also on the national roads. However, in this research an assumption was made that the measures should not be installed on the national roads running through the rural area. In that case, systematization of conditions for the use of traffic calming and speed control measures has indicated that the traffic calming measures can be implemented only on the road sections where the speed limit is less than 50 km/h. And only safety islands can be built under the speed limit of 70 km/h and even 90 km/h. The speed control measures can be used under all speed limits. Based on the research results of instantaneous speed, vertical traffic calming measures and gateways, and according to the foreign practice the distance of impact of the traffic calming and speed control measures was determined, that is given in Fig. S.2.1. It is obvious that the longest distance of impact is represented by the average speed enforcement system, i. e. 2–10 km. This system is based on the measurements of the average speed in a certain road section signed by information signs. At the beginning and in the end of road section the video cameras detect data of the entering and leaving vehicles – time, number plate and the driver. Registered time length of vehicle in the measured section of a road is compared with a specified minimum, which is calculated by assessing section distance and average speed limit. When a vehicle passes road section faster than the minimum length of time, the vehicle owner is identified in accordance with the number plates.

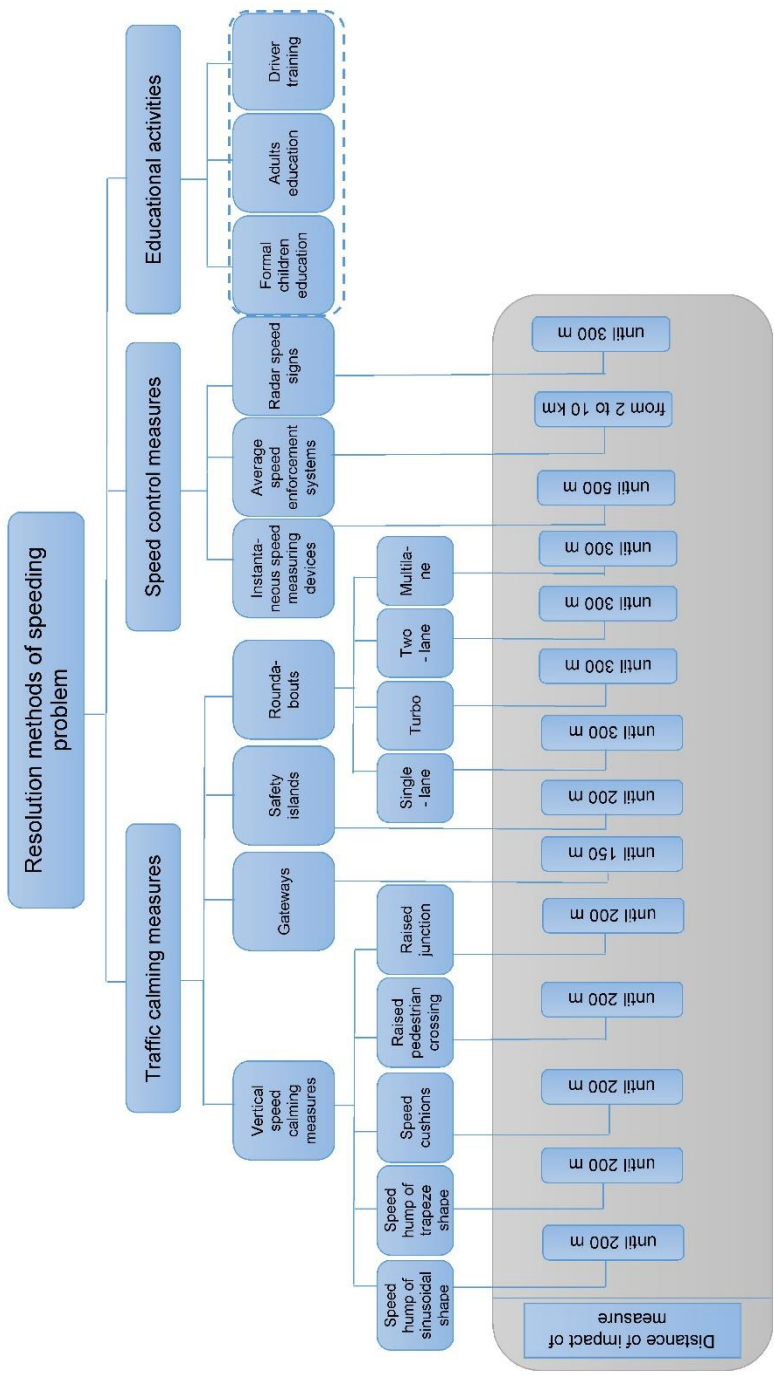
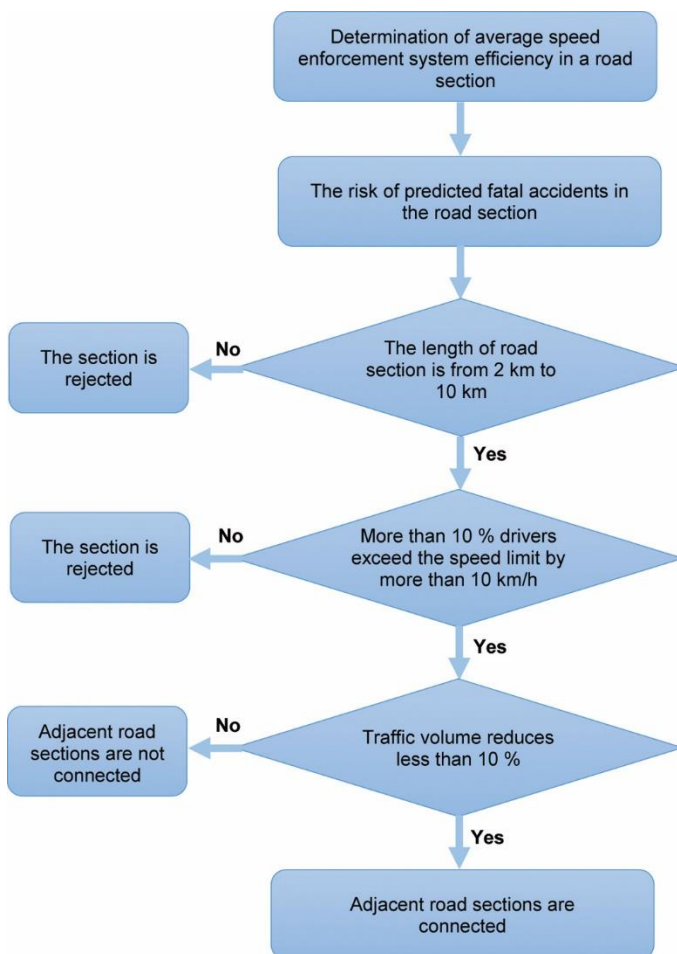


Fig. S.2.1. Section length of traffic calming and speed control measures operation

Based on the experience of foreign countries in implementing the average speed enforcement system and taking into consideration the detail of currently stored data in Lithuania, road infrastructure, and traffic volume a model for the evaluation of safety impact of the average speed enforcement system was developed to be used on the road sections of national significance of Lithuania (Fig. S.2.2). The model involves four stages.



**Fig. S.2.2.** Setting model of average speed enforcement system efficiency to traffic safety on main road section

*In the first stage* the risk of predicted fatal accidents is determined for the homogeneous road sections:

$$R_{prog\_z_i} = \frac{A_{prog\_z} \times 10^8}{365 \times L_i \times VMPEI_i}; \quad (S.2.1)$$

where  $R_{prog\_z_i}$  – the risk of predicted fatal accidents on the road section  $i$ ;  $A_{prog\_z}$  – the number of predicted fatal accidents on the road section  $i$ ;  $L_i$  – length of road section  $i$ , km;  $AADT_i$  – annual average daily traffic on the road section  $i$ , veh/day.

*In the second stage* the length of homogenous road sections is identified. Based on foreign practice, the average speed enforcement system will be effective if the length of road section ranges from 2 km to 10 km.

*In the third stage* on the homogeneous road sections, listed according to the maximum risk of predicted number of fatal accidents, the percentage of drivers exceeding the speed limit is determined. The stationary periodic traffic counting posts, installed on the roads of national significance of Lithuania, take measurements of not only traffic volume but also speed. The Code of Administrative Offences of Lithuania provides that the drivers having exceeded the speed limit by less than 10 km/h are given only a verbal warning. Seeking that the average speed enforcement system was effective the speeding drivers must be penalized. Therefore, the research is focused on the percentage of drivers exceeding the speed limit by more than 10 km/h and on the selection of road sections where the percentage of speeding drivers is more than 10 %.

*In the fourth stage* after the assessment of environmental conditions and uniformity of traffic volume on the road sections selected in the first – third stages, some of adjacent road sections are joined together. Seeking that the average speed enforcement system was effective, it is important to record vehicles in both measuring points of the system. Therefore, the system evaluates the flow of vehicles turning off to the minor roads at the inter-sections located between the road sections. When it is less than 10 % of common road traffic volume, adjacent sections are connected.

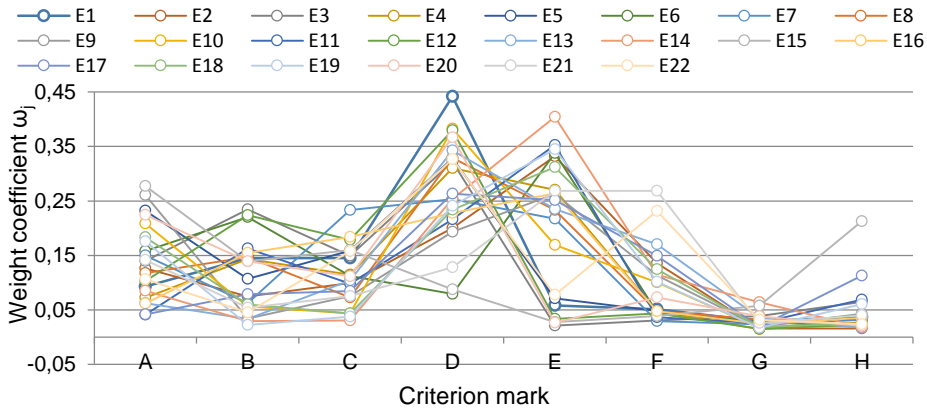
### 3. Research of average speed enforcement system efficiency to road safety

#### Multi study of traffic calming and speed control measures impact to accident reduction

The effect of traffic calming and speed control measures could be compared by using a multi-criteria decision making methods based on experts' opinion. The experts by using their qualification, experience and intuition compare all the factors (criteria) of the object together or pairwise and give them ranks or weights. One of the most frequently used methods is the Analytic Hierarchy Process (AHP) (Saaty 1990; Saaty, Vargas 2012; Dong, Cooper 2016).

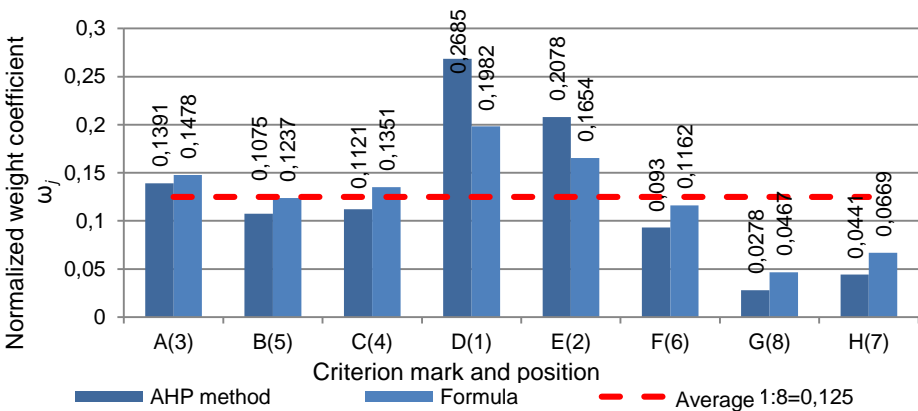
For the experts' interview a questionnaire was compiled consisting of eight measures to solve the speeding problem: A – Vertical speed calming measure; B – Gateways; C – Narrowing or curving of carriageway; D – Roundabout; E – Average speed enforcement system; F – Instantaneous speed measuring device; G – Radar speed sign; H – Transverse

rumble strips. The questionnaire was filled in by 30 experts. The calculated values of consistency ratio  $C.R.$  of the matrixes, completed by the experts, showed that the consistency of 8 matrixes is not suitable. Therefore, 22 consistent matrixes, completed by the experts, were used to determine the significance of the traffic calming and speed control measures to the reduction of accident rate.



**Fig. S.3.1.** Significances of traffic calming and speed control measures to reduction in accident, determined by twenty-two experts

The Kendall's coefficient of concordance  $W$  was used to find out if the experts' opinions are not contradictory. Therefore, the mean coefficient  $\bar{\omega}_j$  of each  $j$ -th criterion weight, determined by 22 experts using the AHP method, can be used as a relative value of the effect of each measure on the reduction of accident rate.



**Fig. S.3.2.** The normalized weight coefficients, determined by different methods, of permissible speeding problem resolution measures impact to decrease of accidents

Subjective weights of criteria can be determined also with the help of the average rank transformation into weight (ARTIW) method calculating by the formula S.3.1 (Sivilevičius 2011b):

$$\tilde{\omega}_j = \frac{(k+1) - \bar{r}_j}{\sum_{j=1}^k \bar{r}_j}; \quad (\text{S.3.1})$$

where  $k$  – the number of criteria ( $j = 1, 2, \dots, k$ );  $\bar{r}_j$  – the mean rank of the  $j$ -th criterion;

$\sum_{j=1}^k \bar{r}_j$  – the sum of ranks of all criteria of the object (when the object is made of 8 criteria, the sum is equal to 36).

The means of normalized weight coefficients  $\bar{\omega}_j$  of 8 criteria of the object (traffic calming and speed control measures), determined by the AHP method (Fig. S.3.2) and calculated by the formula S.3.1  $\tilde{\omega}_j$  (Fig. S.3.2), are similar (of small difference) and show the same priority order:  $D \succ E \succ A \succ C \succ B \succ F \succ H \succ G$ . Criteria weight coefficients, determined by both methods, show that the AHP method is “more sensitive” than the result of the formula S.3.1. The difference between maximum  $\bar{\omega}_{j\max}$  and minimum  $\bar{\omega}_{j\min}$ , calculated by the AHP method, is 0.2407 and the difference between  $\tilde{\omega}_{j\max}$  and  $\tilde{\omega}_{j\min}$ , calculated by the formula 3.24, is 0.1515, i. e. about 37 % smaller.

### Experimental research of average speed on the road A11 Siauliai–Palanga

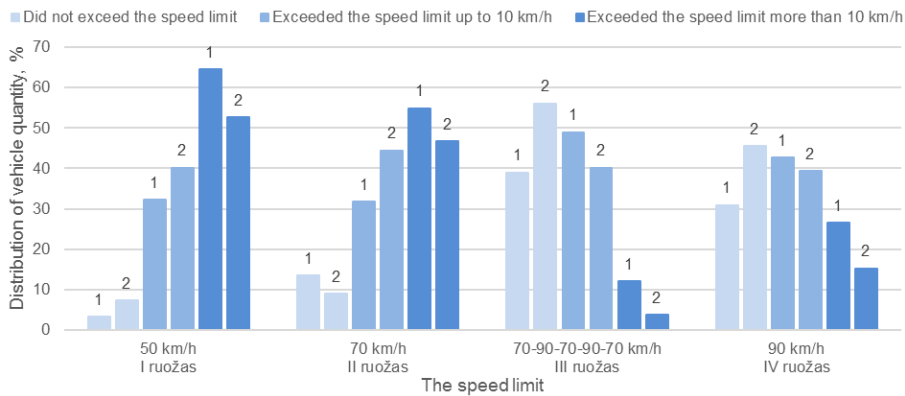
After detail analysis of road accidents and AADT 4 road sections were selected on the road A11 with different speed regimes:

- on road section I – 50 km/h
- on road section II – 70 km/h;
- on road section III – 70–90–70–90–70 km/h;
- on road section IV – 90 km/h.

Research of the average speed of vehicles was carried out by the *SpeedCAM* cameras installed in each of two vehicles. One of the cameras detected the number plates, date (*year, month, day*) and time (*hr., min., s.*) of the entering vehicles at the beginning of the selected road section, another camera detected data of vehicles leaving the selected section. Having compared information from both cameras the average speed of each entering and leaving vehicle was calculated.

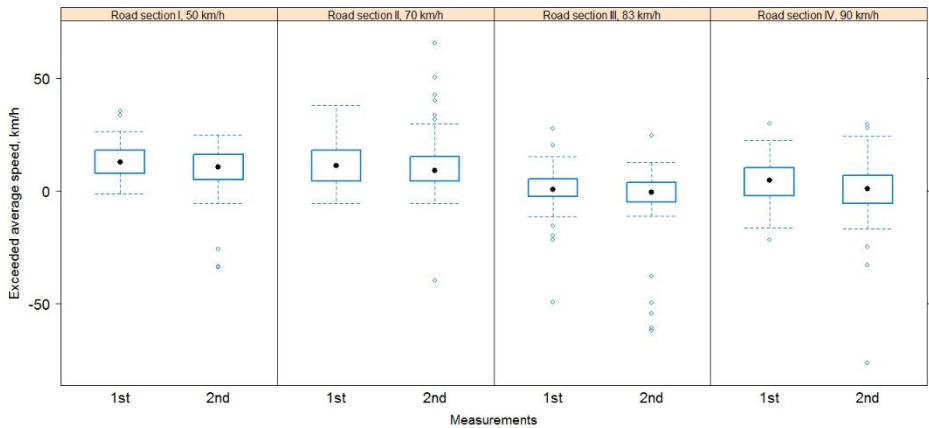
Experimental research of the average speed control on the selected sections of the road A11 was carried out twice (Fig. S.3.3). The research has determined that by more than 10 km/h the average speed is exceeded mostly on the road sections with the lowest speed limit (50 km/h and 70 km/h). Most seldom the average speed is exceeded on the road sections where the speed limit varies 4 times: 70–90–70–90–70 km/h. Also seldom the average speed is exceeded on the road section with a high speed limit, i. e. 90 km/h. This tendency is apparent from the results of both the first and the second measurements.





**Fig. S.3.3.** Distribution of over-speeding cases in the researched sections during 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> measurements

The exceeded average speed on the road sections I and II during the first and the second measurement statistically has no significant difference. The average speed on those road sections is exceeded by about 10 km/h (Fig. S.3.4). There is also no significant difference in the exceeded average speed on the sections III and IV during the second measurement, almost no speeding was observed on those sections. In all other cases the statistically significant differences were observed between the exceeded average speed on the road sections.



**Fig. S.3.4.** Over-speeding of vehicles

### **Experimental research of average speed enforcement system on the road A5 Kaunas–Marijampolė–Suwalki**

From all main roads of Lithuania the largest number of severe accidents in the year 2014 was recorded on the road A5 Kaunas–Marijampolė–Suwalki – 9 road users were killed. In the period 2011–2014, on the road A5 110 accidents occurred where 34 road users were killed. In order to reduce the number of accidents on this road on 19 July 2015 in the section from 29.131 km to 34.004 km (in the length of 4.873 km) the average speed enforcement system was installed signed with information signs. Within the impact zone of the system the speed limit varies 90–70–90 km/h, therefore the calculated average speed on this road section is 88 km/h.

The speed data was compared, recorded by the stationary periodic traffic counting post in 34.00 km of the road A5, before and after installation of the average speed enforcement system. The results showed that after installation of the system the average vehicle speed and the number of speeding cases was reduced. The average speed was reduced by 3.85 km/h. Before system installation the average speed of the recorded 1 906 007 vehicles was 88.13 km/h, whereas, after system installation the average speed of the recorded 1 983 880 vehicles was 84.29 km/h. Before installation of the average speed enforcement system the speed limit of 90 km/h was exceeded by 31.93 % of recorded vehicles, after system installation – by 18.16 % of recorded vehicles. Before system installation 10.96 % of vehicles exceeded the speed limit by more than 10 km/h, after system installation – only 4.91 %. Thus, the number of vehicles exceeding the speed limit by more than 10 km/h has decreased by 53.39 % (before system installation – 208 830 vehicles, after installation – 97 344 vehicles).

## **4. Application of a system based on average speed enforcement model on Lithuanian roads**

Based on the above described model for the evaluation of safety impact of the average speed enforcement system (Fig. S.2.2) the potential road sections were selected for the installation of the system. On those sections with the help of the Road Network Safety Assessment Program Tarva LT the number of road accidents and fatal accidents was predicted showing how many accidents/fatal accidents will occur per year if no measures are implemented.

In order to determine the change in the predicted number of accidents/fatal accidents after installation of the average speed enforcement system the program Tarva LT was supplemented with the safety impact coefficients of the system developed by the Italian scientists Montella *et al.* (2012): 0.69 for accidents and 0.44 for fatal accidents.

Since the *Description of Procedures for the Determination of Road Safety Levels* (2011) provides that the priority high accident concentration road sections shall make at least 10 % of the highest accident concentration road sections, when selecting sections suitable for the installation of the average speed enforcement system the same principle was used. From 290 homogeneous sections of main roads 29 potential road sections were selected (Fig. S.4.1) for the installation of the average speed enforcement system. From 763 homogeneous sections of national roads 76 potential road sections were selected (Fig. S.4.1) for the installation of the average speed enforcement system.

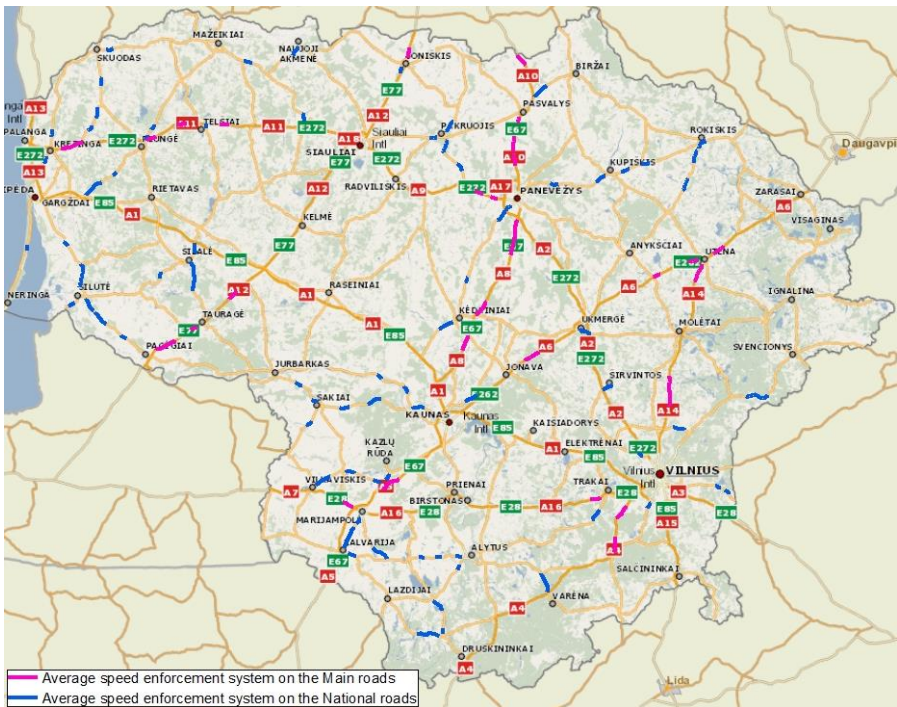
Road accidents cause economic losses. Road Investment Manual (2015) says that a material damage of one fatal accident on Lithuanian roads amounts to EUR 596 899. A material damage of one injury accident is EUR 54 201.

The cost of the average speed enforcement system equipment and its installation would amount to about EUR 15 000. The cost of maintenance would amount to about EUR 200 per month. A yearly maintenance would cost EUR 2 400 (LAKD 2016).

*Alternatives for the implementation of the average speed enforcement system on main roads of Lithuania*

*Alternative I.* The average speed enforcement system is installed on 9 sections of main roads:

- Expected benefit, if the decrease in the predicted fatal accidents per year is 2.58, would make EUR 1 539 999.42/year.
- Expected benefit, if the decrease in the predicted fatal accidents per year is 0.78, would make EUR 42 276.78/year.
- The costs of installation of the average speed enforcement systems would make EUR 135 000.
- The costs of maintenance of the average speed enforcement systems would make EUR 21 600/year.



**Fig. S.4.1.** Selected Lithuanian road sections for the installation of average speed enforcement system

*Alternative II.* The average speed enforcement system is installed on 18 sections of main roads:

- Expected benefit, if the decrease in the predicted fatal accidents per year is 3.97, would make EUR 2 369 689.03/year.
- Expected benefit, if the decrease in the predicted fatal accidents per year is 1.15, would make EUR 62 331.15/year.
- The costs of installation of the average speed enforcement systems would make EUR 270 000.
- The costs of maintenance of the average speed enforcement systems would make EUR 43 200/year.

*Alternative III.* The average speed enforcement system is installed on 29 sections of main roads:

- Expected benefit, if the decrease in the predicted fatal accidents per year is 4.95, would make EUR 2 954 650.05/year.
- Expected benefit, if the decrease in the predicted fatal accidents per year is 1.31, would make EUR 71 003.31/year.
- The costs of installation of the average speed enforcement systems would make EUR 435 000.
- The costs of maintenance of the average speed enforcement systems would make EUR 69 600/year.

*Alternatives for the implementation of the average speed enforcement system on 76 national roads of Lithuania:*

- Expected benefit, if the decrease in the predicted fatal accidents per year is 5.98, would make EUR 3 569 456.02/year.
- Expected benefit, if the decrease in the predicted fatal accidents per year is 4.86, would make EUR 263 416.86/year.
- The costs of installation of the average speed enforcement systems would make EUR 1 140 000.
- The costs of maintenance of the average speed enforcement systems would make EUR 182 400/year.

A cost-benefit analysis of the average speed enforcement system has indicated a high level of payback of all alternatives. However, the best indices were represented by the first alternative of the system installation on main roads (Net Present Value – EUR 10 436; Internal Rate of Return – 1156.1 %; ratio of present benefit value and present cost value or cost-effectiveness – 38.98), however, the cost efficiency of other alternatives, also installation of the average speed enforcement system on national roads, is very close to the first one. The implemented system would pay back in one year of service.

In order to check sensitivity of cost-benefit analysis results to the possible changes in the system's implementation costs, the testing of cost-benefit analysis results was carried out with 66.7 % increase in price (i. e. if installation of the average speed enforcement system on one road section would cost EUR 25 000 instead of EUR 15 000) and 166.7 % increase in price (i. e. if installation of the average speed enforcement system on one road section would cost EUR 40 000 instead of EUR 15 000). The test showed a low sensitivity to the changes in the system's implementation costs. Though in all cases economic indi-

cators have decreased they still remained positive. This means that the system's implementation costs due to a relatively small price of equipment practically have no influence on economic indicators.

## General conclusions

1. Research has determined that the distance of impact of instantaneous speed measuring device is up to 500 m long from the site of its installation. However, the distance of impact of gateways is 150 m. It was also determined that the spacing of 300 m and more between the speed humps of trapeze shape does not ensure that the 50 km/h speed of traffic flow will not be exceeded.

2. Having systematized conditions for the use of traffic calming and speed control measures, it was discovered that only speed control measures (unlike traffic calming measures) can be used under all speed limits. It was determined that from all traffic calming and speed control measures the average speed enforcement system has the longest distance of impact – from 2 km to 10 km.

3. Having analysed foreign experience in implementing the average speed enforcement system, a model for the evaluation of safety impact of the average speed enforcement system was developed. The average speed enforcement system involves four stages. In the first stage the risk of predicted fatal accidents is determined for the road sections. In the second stage the length of homogenous road sections is identified. In the third stage on the homogeneous road sections the percentage of drivers exceeding the speed limit is determined. In the fourth stage after the assessment of AADT uniformity between adjacent road sections the short sections are joined together.

4. With the use of methods of Analytic Hierarchy Process and correlation of ranks, the significances of traffic calming and speed control measures to the reduction of accident rate was determined. Having expressed them in the normalized weight coefficients of criteria, a priority list of measures was made starting from the most important to the least important criteria: roundabout ( $\omega_D = 0.2685$ ), average speed enforcement system ( $\omega_E = 0.2078$ ), vertical speed calming measure ( $\omega_A = 0.1391$ ), narrowing or curving of carriageway ( $\omega_C = 0.1121$ ), gateways ( $\omega_B = 0.1075$ ), instantaneous speed measuring device ( $\omega_F = 0.0930$ ) transverse rumble strips ( $\omega_H = 0.0441$ ) and radar speed sign ( $\omega_G = 0.0278$ ).

5. Experimental research of the average speed on the road A11 has determined that by more than 10 km/h the average speed is exceeded mostly on the road sections with the lowest speed limit: 50 km/h and 70 km/h. Statistical analysis shows that the exceeded average speed on the study sections statistically has no significant difference. Most seldom the average speed is exceeded on the road section with the number of speed limitations (on the study road section the speed limit varies 4 times). Between the road sections with the lowest speed limit (50km/h and 70 km/h) and the road section with the number of speed limitations the exceeded average speed has statistically significant differences.

6. Experimental research by the average speed enforcement system showed that after installation of the system the number of vehicles exceeding the speed limit of 90 km/h by more than 10 km/h has decreased by 53.39 %. The average speed was reduced by 3.85 km/h. Installation of average speed enforcement system in 4,873 km road section had the most influence on reduction of speed violations for more than 10 km/h of 88 km/h average speed.

7. When selecting road sections on main and national roads of Lithuania where the average speed enforcement system can be effective from the point of view of road safety, it is recommended to use the developed model for the evaluation of safety impact of the average speed enforcement system on the road sections. A cost-benefit analysis of the average speed enforcement system, implemented on main and national road sections selected by the suggested model, shows a high level of payback. The system's implementation would pay back in one year of service. Having tested a sensitivity of the cost-benefit analysis results to the possible changes in the system's implementation costs with 66.7 % and 166.7 % increase in price, a low sensitivity was determined. In both cases though economic indicators have decreased they still remained positive.

## Recommendations

1. One of the principles of the model for the evaluation of safety impact of the average speed enforcement system, developed and presented in the doctor's dissertation, is the length of homogeneous road sections. The principle is based on foreign experience and indicates that the system can be effective in the distance from 2 km to 10 km. Results of experimental research of the average speed enforcement system prove the distance of impact. The system installed in 4.873 km long section of the main road A5 Kaunas–Marijampolė–Suwalki has a positive impact on the reduction of both speed and accident rate.

2. Based on the results of experimental research of the average speed control on the road A11 Šiauliai–Palanga, it is recommended to prioritize main and national road sections, selected using the developed model for the evaluation of safety impact of the average speed enforcement system, not only by the change in the number of fatal accidents after system's implementation but also by the speed limit and the number of speed limitations. Taking into consideration the cases of exceeded average speed recorded during the research it is suggested to give priority/a higher score to the road sections with low (50 km/h or 70 km/h) and uniform speed limit. A lower score is recommended for the road sections with a higher (90 km/h) speed limit, and the lowest score – to the road sections with a frequent change in the speed limit (e. g. 70–90–70–90–70 km/h).

3. It is recommended to implement the average speed enforcement system which would recognize vehicle category and the penalty for the exceeded average speed on the road section would be imposed according to the speed limit set for the certain vehicle category.

4. Based on the economic evaluation of the average speed enforcement system, it is recommended to start implementing the system on the sections of main roads. According to the best results of cost and benefit, in the first stage it is suggested to implement the average speed enforcement system on 9 road sections.

---

## Priedai<sup>3</sup>

**A priedas.** Leistino greičio viršijimo problemos sprendimo priemonių reikšmingumų avaringumo sumažėjimui ekspertinio tyrimo anketa

**B priedas.** Eksperto nuomonės suderinamumo laipsnio skaičiavimas porinio lyginimo metodu

**C priedas.** A11 Šiauliai-Palanga kelyje 2011–2014 m. įvykę įskaitiniai eismo įvykiai, jų sunkumas bei rūšys

**D priedas.** Eismo įvykių prognozavimo rezultatai potencialiuose vidutinio greičio matavimo sistemos įrengimui Lietuvos magistralinių kelių ruožuose

**E priedas.** Eismo įvykių prognozavimo rezultatai potencialiuose vidutinio greičio matavimo sistemos įrengimui Lietuvos krašto kelių ruožuose

**F priedas.** Vidutinio greičio matavimo sistemos ekonominis vertinimas

**G priedas.** Bendraautorių sutikimai teikti publikacijose skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje

**H priedas.** Autorės mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos

---

<sup>3</sup>Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje.

Laura JATEIKIENĖ

AUTOMOBILIŲ KELIUOSE DIEGIAMŲ INŽINERINIŲ GREIČIO  
REGULIAVIMO IR KONTROLĖS PRIEMONIŲ VEIKSMINGUMO  
EISMO SAUGUMUI ĮVERTINIMO MODELIS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,  
statybos inžinerija (02T)

ASSESSMENT MODEL OF ROAD TRAFFIC CALMING AND  
SPEED CONTROL MEASURES EFFICIENCY  
TO TRAFFIC SAFETY

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,  
Civil Engineering (02T)

2016 12 16. 14,0 sp. I. Tiražas 20 egz.  
Vilniaus Gedimino technikos universiteto  
leidykla „Technika“,  
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,  
<http://leidykla.vgtu.lt>  
Spausdino UAB „BMK leidykla“  
J. Jasinskio g. 16, 01112 Vilnius